

Murilo Vetter

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE EM  
SERVIÇOS DE TELEFONIA IP**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós-Graduação em Ciência da  
Computação da Universidade Federal  
de Santa Catarina para a obtenção do  
Grau de Mestre em Ciência da  
Computação.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Willrich

Florianópolis  
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Vetter, Murilo

Sistema de Monitoramento de Qualidade em Serviços de  
Telefonia IP / Murilo Vetter ; orientador, Roberto  
Willrich - Florianópolis, SC, 2015.

118 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Ciência da Computação.

Inclui referências

1. Ciência da Computação. 2. Voz sobre IP. 3. Qualidade  
de Serviço. 4. Monitoramento. 5. SIP / RTP XR. I.  
Willrich, Roberto. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.  
III. Título.

Murilo Vetter

## **SISTEMA DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE EM SERVIÇOS DE TELEFONIA IP**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Ciência da Computação”, e aprovado em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Florianópolis, 13 de abril de 2015.

---

Prof. Ronaldo dos Santos Mello, Dr.  
Coordenador do Programa

### **Banca Examinadora:**

---

Prof. Roberto Willrich, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Valter Roesler, Dr.  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Mario Antonio Ribeiro Dantas, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Frank Augusto Siqueira, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Em memória a minha mãe, Jussara.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me propiciar sabedoria e discernimento para poder escrever e dissertar. Agradeço imensamente a minha mulher e amada Regiane, que ao longo do período do mestrado me incentivou e me suportou nas horas difíceis. Agradeço aos meus familiares: pai Rodolfo, irmão Fausto, irmã Flávia e minha querida mãe Jussara (em memória).

Estendo meus agradecimentos ao meu orientador e professor, que vem me acompanhando e guiando para a conclusão deste trabalho. Não poderia esquecer-me de agradecer também aos colegas de trabalho, Edison Melo, Guilherme Rhoden e Rodrigo Pescador, que me auxiliaram e colaboraram na execução desta dissertação, dando suas opiniões e pontos de vista sobre o assunto discutido.

Agradeço à Superintendência de Governança Eletrônica e Tecnologia da Informação e Comunicação (SeTIC/UFSC) e ao Departamento de Informática e Estatística (INE/UFSC), o primeiro por permitir a realização e experimentação do trabalho e o segundo por ser o departamento que me acolheu na realização desta dissertação.



Só depois que a tecnologia inventou o telefone, o telégrafo, a televisão, a Internet, foi que se descobriu que o problema de comunicação mais sério era o de perto.

(Millôr Fernandes)





## RESUMO

A telefonia IP é um serviço consolidado que tem crescido de forma constante, impulsionada por suas diversas vantagens, como redução de custos, facilidade de integração com outros serviços, dentre muitas outras. No entanto, manter a qualidade deste serviço ainda é um desafio principalmente em locais de redes congestionadas. Como a telefonia é um serviço essencial para várias organizações, é fundamental manter as chamadas em níveis razoáveis de qualidade. Para tal, a qualidade oferecida pela telefonia IP deve ser constantemente monitorada de maneira a orientar as ações de novos investimentos e manutenção. Nesta direção, a presente dissertação propõe um sistema de monitoramento da qualidade fim-a-fim para os serviços de telefonia IP com base no pacote de relatórios de qualidade RTCP XR (*Real Time Control Protocol - Extended Reports*) e no protocolo de sinalização SIP (*Session Initiation Protocol*). Um caso de uso do sistema proposto, em um serviço de produção de telefonia IP de uma universidade, utilizando métricas objetivas e metodologias de monitoramento não intrusivas, demonstrou a efetividade e versatilidade do sistema proposto.

**Palavras-chave:** Voz sobre IP, Qualidade de Serviço, Monitoramento, SIP, RTCP XR.



## ABSTRACT

IP telephony is a consolidated service that has been growing steadily, driven by its various advantages, such as cost reduction, ease of integration with other services, among many others. However, maintaining the quality of this service is still a challenge especially in places of congested networks. As the telephony is an essential service for various organizations, it is essential to maintain the call quality at reasonable levels. To this end, the quality offered by IP telephony should be constantly monitored in order to guide the actions of new investments and maintenance. In this direction, this thesis proposes a quality end-to-end monitoring system for IP telephony services based on quality reporting package RTCP XR (Real Time Control Protocol - Extended Reports) and SIP signaling protocol (Session Initiation Protocol). A use case of the proposed system in an IP telephony production service of a university, using objective metrics and non-intrusive monitoring methodologies, demonstrated the effectiveness and versatility of the proposed system.

**Keywords:** Voice over IP, Quality of Service, Monitoring, SIP, RTCP XR.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ambiente mínimo de telefonia IP .....	34
Figura 2 – Processo para o estabelecimento de uma chamada IP .....	36
Figura 3 – Processo para o estabelecimento de uma chamada IP utilizando o protocolo SIP .....	38
Figura 4 – Percepção da qualidade de uma chamada VoIP de acordo com o Atraso .....	43
Figura 5 – Relação entre atraso ( <i>delay</i> ) e perda de pacotes com a qualidade das chamadas da telefonia IP (ULTRACOM, 2014) .....	45
Figura 6 – Formato geral do pacote XR (FRIEDMAN et al., 2003).....	51
Figura 7 – Formato do bloco descritor monitoração VoIP (FRIEDMAN et al., 2003).....	54
Figura 8 – Exemplo do método SIP PUBLISH implementando o pacote de eventos SIP <i>vq-rtcp</i> xr .....	56
Figura 9 – Relatório XR estendida com métricas de QoS (KIM et al., 2006) .....	59
Figura 10 – Arquitetura do ambiente de gerência (DE LIMA et al., 2005) .....	61
Figura 11 – MIB SNMP para VoIP QoS (DE LIMA et al., 2005).....	61
Figura 12 – Sistema de Monitoramento de Qualidade em Serviços VoIP .....	65
Figura 13 – Arquitetura de <i>Software</i> SM-QV .....	67
Figura 14 – Modelagem banco de dados do SM-QV .....	71
Figura 15 – Relatório de Visão Geral.....	74
Figura 16 – Relatório de Análise Diária.....	75
Figura 17 – Relatório de Análise por Agente Usuário .....	76
Figura 18 – Relatório de Tendência da Qualidade por Agente Usuário	77
Figura 19 – Relatório de Perdas nas Redes de Telefonia IP.....	78
Figura 20 – Relatório de Matriz de Tráfego de Voz .....	79
Figura 21 – MIB VoIP Qualidade apresentada por (MG-SOFT, 2014)	81
Figura 22 – Dados em formato JSON fornecidos pelo SM-QV.....	83
Figura 23 – Arquitetura do serviço de telefonia IP da UFSC.....	87
Figura 24 – Configuração do DATA TEMPLATE de fluxos com taxa de transmissão de 33 pps.....	92
Figura 25 – Gráfico da telefonia IP quanto à utilização da rede (5 min) .....	93
Figura 26 – Gráfico da telefonia IP quanto à utilização da rede (30 min) .....	93
Figura 27 – Gráfico da telefonia IP quanto à utilização da rede (2 h)...	93

Figura 28 – Gráfico da telefonia IP quanto à utilização da rede (1 ano)	94
Figura 29 – Gráfico da telefonia IP quanto à seleção do CODEC (5 min)	94
Figura 30 – Gráfico da telefonia IP quanto à seleção do CODEC (30 min)	94
Figura 31 – Gráfico da telefonia IP quanto à seleção do CODEC (2 h)	95
Figura 32 – Gráfico da telefonia IP quanto à seleção do CODEC (1 ano)	95
Figura 33 – Gráfico da telefonia IP quanto à geração de alertas (5 min)	95
Figura 34 – Gráfico da telefonia IP quanto à geração de alertas (30 min)	96
Figura 35 – Gráfico da telefonia IP quanto à geração de alertas (2 h)	96
Figura 36 – Gráfico da telefonia IP quanto à geração de alertas (1 ano)	96
Figura 37 – Configuração do GRAPH TEMPLATE de taxa de transmissão dos fluxos de voz da telefonia IP	97
Figura 38 – Relatório de Visão Geral	99
Figura 39 – Análise do MOS-CQ das chamadas da UFSC no período de análise	101
Figura 40 – Relatório de Análise Diária	102
Figura 41 – Detalhamento da não existência de tráfego de voz a partir das subredes das linhas	105
Figura 42 – Detalhamento da existência de problemas a partir das subredes das linhas	105
Figura 43 – Detalhamento do atendimento satisfatório na subrede da equipe de atendimento ao serviço de telefonia IP da UFSC	106
Figura 44 – Fluxos de voz de subrede A para B atendida com excelência	106
Figura 45 – Fluxos de voz de subrede A para B atendida de forma insatisfatória	107

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BE	- <i>Best Effort</i>
BT	- <i>Block Type</i>
CNG	- <i>Confort Noise Generator</i>
CQ	- <i>Conversational Quality</i>
DCCP	- <i>Datagram Congestion Control Protocol</i>
DHCP	- <i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
FEC	- <i>Forward Error Correction</i>
IETF	- <i>Internet Engineering Task Force</i>
JB	- <i>Jitter Buffer</i>
JBA	- <i>Jitter Buffer Adaptive</i>
JBR	- <i>Jitter Buffer Rate</i>
LPC	- <i>Linear Predictive Coding</i>
LQ	- <i>Listening Quality</i>
MOS	- <i>Mean Opinion Score</i>
MOS-CQ	- <i>Mean Opinion Score - Conversational Quality</i>
MOS-LQ	- <i>Mean Opinion Score - Listening Quality</i>
NAT	- <i>Network Address Translation</i>
NGN	- <i>Next Generation Networking</i>
OWD	- <i>One Way Delay</i>
PBX-IP	- <i>Private Branch Exchange - Internet Protocol</i>
PLC	- <i>Packet Loss Concealment</i>
PSTN	- <i>Public Switched Telephone Network</i>
PT	- <i>Payload Type</i>
QoS	- <i>Qualidade de Serviço</i>
R	- <i>Fator R</i>
R-CQ	- <i>Fator R - Conversational Quality</i>
R-LQ	- <i>Fator R - Listening Quality</i>
RERL	- <i>Residual Echo Return Loss</i>
REST	- <i>Representational State Transfer</i>
RFC	- <i>Request for Comments</i>
RR	- <i>Receiver Report</i>
RTCP	- <i>Real Time Control Protocol</i>
RTCP XR	- <i>RTP - Control Protocol Extended Reports</i>
RTP	- <i>Real-time Transport Protocol</i>
RTT	- <i>Round Trip Time</i>
SCTP	- <i>Stream Control Transmission Protocol</i>
SDP	- <i>Session Description Protocol</i>
SIP	- <i>Session Initiation Prococol</i>
SM-QV	- <i>Servidor de Monitoramento de Qualidade em VoIP</i>

SNMP	- <i>Simple Network Management Protocol</i>
SR	- <i>Sender Report</i>
SSRC	- <i>Synchronization Source Identifier</i>
TI	- <i>Tecnologia da Informação</i>
UFSC	- <i>Universidade Federal de Santa Catarina</i>
URL	- <i>Uniform Resource Locator</i>
Vocoders	- <i>Voice coders</i>
VoIP	- <i>Voz sobre IP</i>
VQ-RTCPXR	- <i>Session Initiation Protocol Event Package for Voice Quality Reporting</i>
XR	- <i>eXtended Reports</i>



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
1.1. OBJETIVOS .....	28
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	28
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	28
1.2. PERGUNTA DA PESQUISA.....	29
1.3. JUSTIFICATIVA .....	29
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	30
<b>2. TELEFONIA IP .....</b>	<b>32</b>
2.1. VANTAGENS E DESAFIOS DA TELEFONIA IP .....	32
2.2. COMPONENTES DA TELEFONIA IP .....	34
2.3. PROTOCOLOS DA TELEFONIA IP.....	36
2.3.1. <i>Protocolos de Sinalização</i> .....	37
2.3.2. <i>Protocolos de Transmissão de Pacotes de Voz</i> .....	39
2.4. CODIFICADORES DE MÍDIA.....	39
2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	40
<b>3. QUALIDADE DE SERVIÇO EM TELEFONIA IP .....</b>	<b>41</b>
3.1. MÉTRICAS OBJETIVAS DE DESEMPENHO .....	42
3.1.1. <i>Atraso</i> .....	42
3.1.2. <i>Variação do atraso</i> .....	43
3.1.3. <i>Taxa de Perdas de pacotes</i> .....	44
3.2. MOS: MÉTRICA SUBJETIVA DE QUALIDADE .....	45
3.3. MÉTRICAS OBJETIVAS DE QUALIDADE EM TELEFONIA .....	46
3.4. IMPACTO DA QUALIDADE DA REDE NAS COMUNICAÇÕES DE TELEFONIA IP .....	47
3.4.1. <i>Eco</i> .....	47
3.4.2. <i>Silêncio Fora do Comum (Supressão de Silêncio)</i> .....	47
3.4.3. <i>Voz entrecortada</i> .....	48
3.4.4. <i>Voz robotizada</i> .....	48
3.4.5. <i>Queda da comunicação</i> .....	49
3.5. CODECS VS QOS.....	49
3.6. RELATÓRIOS DE QOS.....	49
3.6.1. <i>RTCP</i> .....	49
3.6.2. <i>RTCP XR</i> .....	50

3.6.3.	<i>VQ-RTCPXR</i> .....	54
3.7.	TÉCNICAS DE MONITORAMENTO DE QOS PARA A TELEFONIA IP.....	56
3.7.1.	<i>Classificação das Técnicas de Monitoramento de Qualidade</i> .....	57
3.7.2.	<i>Técnicas de Monitoramento de Qualidade Não Intrusivas</i> 58	
3.8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	62
<b>4.</b>	<b>SISTEMA DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE EM SERVIÇOS DE TELEFONIA IP .....</b>	<b>64</b>
4.1.	VISÃO GERAL DO SISTEMA PROPOSTO .....	65
4.2.	CONFIGURAÇÃO DOS COMPONENTES DA TELEFONIA IP	67
4.3.	SERVIDOR SM-QV .....	67
4.3.1.	<i>Proxy SIP</i> .....	70
4.3.2.	<i>Parser vq-rtcpxr</i> .....	70
4.3.3.	<i>BD Relacional</i> .....	70
4.3.4.	<i>Servidor Web</i> .....	72
4.3.5.	<i>Interface de Persistência</i> .....	79
4.3.6.	<i>Agente SNMP</i> .....	79
4.3.7.	<i>API REST</i> .....	81
4.4.	AGENTES EXTERNOS .....	83
4.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	84
<b>5.</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>86</b>
5.1.	AMBIENTE DE TELEFONIA IP DA UFSC .....	86
5.2.	PROTÓTIPO DO SM-QV DESENVOLVIDO .....	89
5.2.1.	<i>Relatórios Implementados</i> .....	89
5.2.2.	<i>Integração com Sistemas Externos</i> .....	90
5.3.	RESULTADOS E ANÁLISE .....	98
5.3.1.	<i>Relatório de Visão Geral</i> .....	98
5.3.2.	<i>Relatório de Análise Diária</i> .....	101
5.3.3.	<i>Relatório de Matriz de Tráfego de Voz</i> .....	103
5.3.4.	<i>Relatórios Gerados pelo CACTI</i> .....	108
5.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	109
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>111</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>114</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A convergência de dados e voz nos serviços de telecomunicações já é tida como consolidada. Esta tecnologia permite que vários serviços sejam entregues, dentre os quais a telefonia IP é atualmente o de maior evidência. A telefonia IP pode ser definida como sendo a aplicação da tecnologia de Voz sobre IP (VoIP) atendendo a requisitos de qualidade e oferecendo funcionalidades equiparáveis ao serviço de telefonia comutada convencional (PSTN – *Public Switched Telephone Network*) (ITU-T, 1996; ITU-T, 1988).

As soluções de telefonia IP utilizam geralmente o protocolo de sinalização SIP – *Session Initiation Protocol* (HANDLEY et al., 1999) para apoiar o gerenciamento de chamadas VoIP e o protocolo RTP/RTCP – *Real-time Transport Protocol / Real Time Control Protocol* (SCHULZINNE et al., 2003) para empacotamento, transmissão e controle de pacotes de voz (contendo um conjunto de amostras de voz) sobre as redes IP. Uma funcionalidade do RTCP particularmente importante para este trabalho é o envio de relatórios de Qualidade de Serviço (QoS), emitidos tanto pelo receptor como pelo transmissor dos pacotes de voz.

Apesar da ampla utilização da telefonia IP, ainda hoje um dos maiores desafios deste serviço é a entrega de voz a níveis de qualidade comparáveis ao serviço convencional de telefonia PSTN. A telefonia IP é um serviço essencial a muitas organizações. Caso ocorra alguma interrupção ou baixa qualidade do oferecimento deste serviço, as consequências podem ser graves. A manutenção da qualidade em telefonia IP se torna particularmente difícil em locais sem atendimento de redes não congestionadas e no caso de utilização de redes sem fio (CONCEIÇÃO, LI e FLORÊNCIO, 2006).

Tratando especificamente do serviço de telefonia IP, a garantia da qualidade do serviço é ainda um grande desafio devido à diversidade dos componentes envolvidos. Ela depende tanto da QoS oferecida pela infraestrutura de rede quanto dos próprios componentes do serviço de telefonia IP, os quais minimamente são PBX-IP (*Private Branch Exchange - Internet Protocol*), telefones IP/*softphones* e *gateways* PSTN. Esta diversidade de componentes torna o gerenciamento de qualidade da telefonia IP desafiador e de real interesse de estudo.

Existem duas medidas complementares visando à manutenção da QoS de telefonia IP. A primeira medida é realizada pelos próprios componentes do serviço, que é a adaptação à QoS oferecida pela rede (MOURA et al., 2006). A segunda medida é realizar ações de

configuração e manutenção da infraestrutura de rede para o oferecimento de um serviço de comunicação com nível de qualidade adequado aos pacotes de voz.

Esta dissertação foca na segunda medida de manutenção da QoS da telefonia IP. Mais especificamente, tem-se o interesse em investigar formas de monitoramento da qualidade oferecida pelo sistema. A partir deste monitoramento, os gestores do sistema podem verificar a necessidade de realizar configurações, correções ou melhorias no sistema.

Existem diversas técnicas de monitoramento de qualidade do serviço de telefonia IP. Estas técnicas podem ser classificadas de diferentes pontos de vista (JELASSI et al., 2012). A primeira forma de classificação é quanto à geração ou não de tráfego sintético na rede. A segunda forma de classificação das técnicas de monitoramento de qualidade é quanto à métrica de qualidade adotada.

No primeiro ponto de vista, uma técnica pode ser classificada como intrusiva ou não intrusiva. As técnicas intrusivas são aquelas que inserem tráfego artificial na rede para aferir a qualidade oferecida para este tráfego. Já as técnicas não intrusivas aferem a qualidade oferecida ao tráfego VoIP real, que é gerado pelos clientes do serviço.

Quanto ao segundo ponto de vista, as técnicas podem ser classificadas como técnicas de medição subjetivas ou objetivas. As medidas subjetivas (também chamadas de qualitativas) quantificam a qualidade utilizando métricas psicológicas, que se baseiam na opinião do usuário, através de pesquisas com usuários do serviço ou através da utilização de técnicas que calculam a qualidade percebida pelos usuários utilizando testes em laboratórios com um conjunto limitado de pessoas que avaliam a qualidade dos componentes da telefonia IP. Esta forma de medição da qualidade percebida possui algumas desvantagens. O uso de usuários reais para medição da qualidade de maneira subjetiva é demorada, cara, e muitas vezes imprecisa devido a aspectos sociais e culturais dos usuários participantes (ALAVI e NIKMEHR, 2010). Para resolver este problema, foram propostas algumas técnicas (incluindo o E-Model (ITU-T, 2014)) que estimam a qualidade subjetiva em qualidade objetiva, mapeando os parâmetros de QoS oferecido pela rede para parâmetros objetivos, neste caso estimando os parâmetros subjetivos. Uma proposta neste sentido é apresentada por (CE JUNIOR et al., 2010), o qual utiliza tecnologias da Web Semântica.

Por sua vez, as técnicas objetivas (também chamadas de quantitativas) quantificam a qualidade oferecida pela rede em termos quantitativos (numéricos), obtidos na forma de medições no sistema

(sem a necessidade de consulta aos usuários para sua medição). As métricas de qualidade quantitativas expressam a qualidade em termos de parâmetros de desempenho do sistema, como atraso, variação de atraso e taxa de perdas de pacotes.

Diversos trabalhos (JELASSI et al., 2012; MANCAS e MOCANU, 2013) destacam que a qualidade do serviço de telefonia IP deveria ser avaliada utilizando métricas objetivas que estimam a qualidade percebida pelo usuário, pois indicam diretamente a qualidade do serviço para o administrador, sem a necessidade de realizar uma observação indireta a partir de parâmetros de desempenho. Além de adotar estas métricas objetivas, considera-se aqui que as técnicas de monitoramento de qualidade de telefonia IP deveriam adotar soluções não intrusivas. Segundo Jelassi et al. (2012), estas soluções são mais adequadas pois elas podem monitorar as chamadas reais do serviço de telefonia IP.

Alguns trabalhos (BIRKE et al., 2010; CARDEAL et al., 2011; DE LIMA et al., 2005; KIM et al., 2006) já propõem técnicas de monitoramento de qualidade fim-a-fim não intrusiva com medição objetiva (ou quantitativa) que utilizam os relatórios de qualidade de transmissor e receptor oferecidos pelo protocolo de controle RTCP. Esses relatórios RTCP já oferecem meios para as aplicações medirem os parâmetros de rede que afetam a qualidade de uma chamada VoIP.

A RFC 3611 (FRIEDMAN et al., 2003) define uma extensão do RTCP, especificando um novo pacote de relatórios, chamado de XR (*eXtended Reports*). Essa extensão complementa as métricas objetivas já existentes do RTCP. Com esta extensão, os terminais da telefonia IP, como telefones IP, *softphones* e *gateways* podem emitir relatórios de qualidade das chamadas de voz utilizando parâmetros de qualidade objetivos, mais adequados para o entendimento da qualidade do serviço percebida pelo usuário.

Outra ação da IETF (*Internet Engineering Task Force*) para ampliar o uso de pacotes RTCP XR foi a definição de um pacote de eventos SIP, chamado de SIP vq-rtpcpxr – *Session Initiation Protocol Event Package for Voice Quality Reporting* (PENDLETON et al., 2010). Esse pacote encapsula as métricas contidas nos relatórios RTCP XR em mensagens SIP. Desta forma, os relatórios de qualidade podem ser enviados não apenas entre os pares envolvidos na chamada, mas também para qualquer outro componente do serviço de telefonia IP.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Nesta dissertação tem-se por objetivo propor um sistema de monitoramento de qualidade centralizado não intrusivo das chamadas de telefonia IP baseado no uso dos relatórios RTCP XR e do protocolo SIP.

Um diferencial desta proposta é sua simplicidade e o baixo impacto na infraestrutura do serviço de telefonia IP, requerendo apenas a inclusão de um servidor de monitoramento de qualidade que coleta dados de qualidade. Não há nenhuma alteração no lado dos terminais da telefonia IP, nem nos servidores envolvidos no provimento deste serviço. Isto pois a proposta se baseia na transmissão de pacotes de evento SIP vq-rtcpxr para o servidor de monitoramento de qualidade central. A utilização do pacote SIP vq-rtcpxr garante maior segurança para o ambiente de telefonia IP, sendo que não é a mídia que é capturada para análise, e sim, métricas de qualidade disponibilizadas pelo pacote SIP vq-rtcpxr.

A centralização dos dados de qualidade permite a realização do monitoramento da qualidade, gerando diversos relatórios de qualidade. Alguns dos relatórios que a ferramenta disponibiliza são: análise geral, análise diária e gerência da matriz de tráfego de voz por rede.

Além da geração dos relatórios de qualidade, o sistema proposto permite exportar os dados de qualidade através de interfaces de comunicação padronizada, incluindo o suporte ao protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) (CASE et al., 1990) e uma Interface REST (*Representational State Transfer*) (FIELDING e TAYLOR, 2002).

Para avaliação da efetividade, escalabilidade e versatilidade do sistema proposto, esta dissertação também apresenta um caso de uso em um ambiente real de serviço de telefonia IP. Neste estudo de caso, a qualidade do serviço de telefonia IP da Universidade Federal de Santa Catarina foi monitorada durante 4 meses.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta dissertação são os seguintes:

- Estudar o serviço de telefonia IP e os desafios de manutenção da qualidade deste tipo de serviço;

- Analisar as principais técnicas de monitoramento de qualidade dos serviços de telefonia IP que sejam não intrusivas;
- Definir e desenvolver um sistema de monitoramento de qualidade para o serviço de telefonia IP com base nos relatórios XR e no protocolo SIP;
- Integrar o sistema de monitoramento de qualidade com uma ferramenta de monitoramento existente; e
- Realizar um experimento com o sistema de monitoramento de qualidade em um ambiente de telefonia IP.

## 1.2. PERGUNTA DA PESQUISA

Esta dissertação tenta responder o seguinte questionamento da área de monitoramento de aplicações: Como tornar o monitoramento da telefonia IP simples, escalável e eficiente, utilizando métricas objetivas e metodologias de monitoramento não intrusivas?

## 1.3. JUSTIFICATIVA

A área de gerenciamento de serviços está carente de ferramentas para auxiliar no monitoramento do serviço de telefonia IP. Muitas das corporações que fazem uso de serviços de telefonia IP não possuem sistemas automatizados de monitoramento do serviço. Nestas corporações, o monitoramento do serviço é baseado apenas em *feedbacks* dos usuários e no monitoramento de falhas do serviço de telefonia e de telecomunicações em geral.

De forma geral, as abordagens de monitoramento baseadas em *feedbacks* dos usuários e monitoramento de falhas resultam em ações de manutenção da qualidade reativas, ou seja, existem problemas de qualidade ou falhas que são relatados pelos usuários que as ferramentas não monitoram, baixando a qualidade do monitoramento do serviço de telefonia IP.

Com base nestas informações, os gestores do serviço de telefonia IP podem apenas tentar localizar os pontos de falhas de forma empírica. Assim, esta forma de monitoramento é pouco eficiente e custosa sob a perspectiva operacional, ainda mais contando com baixo número de profissionais trabalhando na área de monitoramento de qualidade.

Uma abordagem mais eficiente no contexto de monitoramento do serviço de telefonia IP é constantemente monitorar a qualidade do serviço de telefonia IP. Isto permite uma ação proativa na identificação,

localização e correção de problemas, sem necessidade da intervenção dos usuários.

Os atuais sistemas de monitoramento de qualidade são normalmente complexos para se implementar, pois geralmente exigem a implantação de muitos componentes envolvidos no monitoramento da qualidade do serviço. Muitos destes sistemas acabam sendo implantados em determinados segmentos do serviço, como por exemplo, no monitoramento de *gateways* ou PBX-IPs, não cobrindo o monitoramento de todos os componentes do serviço. Esta falta de cobertura evidencia a necessidade de estudar novas formas de monitoramento para mensurar qualidade de forma mais ampla, abrangendo um número mais significativo de componentes do serviço de telefonia IP.

Esta dissertação apresenta uma proposta de monitoramento de qualidade de telefonia IP com técnicas de monitoramento não intrusivo. Isto se justifica, pois as mesmas conseguem gerenciar e monitorar chamadas IP, além do poder computacional de processamento requerido ser menor e não haver necessidade de acesso ao conteúdo da mídia, provendo maior grau de segurança para o serviço de telefonia IP.

Nesta proposta, a infraestrutura do serviço de telefonia IP é a responsável em disponibilizar os indicadores de qualidade através do pacote de eventos SIP *vq-rtcp*. Estas informações são encaminhadas para um servidor central (único componente adicional à infraestrutura do serviço de telefonia IP existente) que consolida as informações de qualidade e as disponibiliza através de interfaces padronizadas. Estas interfaces permitem que outros sistemas de monitoramento e/ou administrativos consumam os dados de telefonia IP, agregando maior valor ao sistema de monitoramento proposto.

#### 1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O restante desta dissertação está organizado na forma que segue. O capítulo 2 tem por objetivo apresentar os conceitos básicos sobre telefonia IP que são relevantes para o entendimento desta dissertação. Em seguida, o capítulo 3 apresenta conceitos relacionados à qualidade de serviço, aos impactos da qualidade da rede nas comunicações de telefonia IP e às técnicas de monitoramento do serviço de telefonia IP. Na sequência, o capítulo 4 apresenta o sistema proposto para monitoramento de qualidade do serviço de telefonia IP. O capítulo 5 apresenta um estudo de caso em um ambiente de produção de telefonia



IP. E finalmente, o capítulo 6 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

## 2. TELEFONIA IP

A telefonia sobre redes IP está modernizando a telefonia convencional de comutação de circuitos (PSTN – *Public Switched Telephone Network*). Devido às vantagens da telefonia IP, as próprias operadoras de telefonia já utilizam a telefonia IP em suas redes internas, e muitas delas já oferecem o serviço de telefonia IP como produto a seus clientes.

A telefonia IP não está simplesmente substituindo a telefonia PSTN, mas agregando valor ao próprio serviço de telefonia. Por exemplo, os sistemas de telefonia IP integrados aos sistemas corporativos podem apresentar relatórios de telefonia importantes focados na corporação, como quais foram os últimos 10 números não atendidos de determinado usuário.

Dado a importância crescente do serviço de telefonia IP, neste capítulo será apresentada uma introdução geral a este serviço, incluindo a descrição de uma arquitetura mínima para compor o serviço e dos protocolos utilizados para operar o serviço, bem como os codificadores de mídia.

### 2.1. VANTAGENS E DESAFIOS DA TELEFONIA IP

O serviço de telefonia IP possui um alto valor agregado, proporcionando diversas vantagens em sua implantação. Uma das principais vantagens proporcionadas pela telefonia IP é a convergência de voz e dados em uma única infraestrutura de comunicação, as redes IP. Esta convergência simplifica e reduz custos de instalação e manutenção da infraestrutura necessária: não é mais necessário instalar estruturas separadas para comunicação de dados e de telefonia. Além disso, as equipes de suporte e gerenciamento de infraestrutura de redes e de telefonia são unidas. Com isso, há uma economia no suporte e gerenciamento dos serviços de telecomunicação.

Além da economia proporcionada no suporte e no gerenciamento do serviço, a telefonia IP favorece economia nas chamadas telefônicas. Chamadas que tinham custos mais elevados, como no caso de chamadas de longa distância, passam a trafegar pela rede IP, com um custo mais reduzido.

Outra vantagem da telefonia IP é a economia em termos de largura de banda necessária ao serviço. A telefonia PSTN se baseia em redes de comutação de circuitos, e a telefonia IP se apoia em uma rede de comutação de pacotes. Devido à melhor eficiência das redes de

pacotes, se comparada à comutação de circuito (DA ROCHA, 2005), naturalmente a telefonia IP usa de maneira mais eficiente os recursos de rede. Além disso, a telefonia IP pode utilizar um número maior de CODECs para codificar a voz e utilização de técnicas de supressão de silêncio para otimizar a utilização de banda na rede IP.

Outra vantagem intrínseca na implantação da telefonia IP é a possibilidade de utilização de diferentes clientes, não se limitando a apenas aparelhos telefônicos físicos. Os clientes da telefonia IP podem usar diversos tipos de terminal, como telefones analógicos (utilizando adaptadores ou centrais telefônicas com *gateways*), telefones IP ou *softphone* (*software* emulando as funcionalidades de um telefone IP). Esta flexibilidade permite oferecer o serviço também de maneira virtual, de forma que os usuários podem ter acesso ao serviço mesmo quando estiverem fazendo trabalho remoto, necessitando apenas ter acesso à Internet e um *softphone* instalado em um computador convencional ou em um *smartphone*.

Outra vantagem do serviço de telefonia IP é o oferecimento de novos serviços que através da telefonia comutada não eram possíveis. Um exemplo de serviço disponível na telefonia IP é a interação da telefonia IP com serviços administrativos da instituição. Aplicações externas podem ser criadas para atender demandas específicas de cada instituição, permitindo personalizar o serviço para cada uma.

Outra facilidade oferecida pelo serviço de telefonia IP é sua interconexão com o serviço de telefonia PSTN. Esta interconexão entre os dois serviços permite que chamadas entre o serviço de telefonia IP sejam direcionadas para o serviço de telefonia comutada e vice-versa, possibilitando os dois serviços coexistirem.

Naturalmente, a telefonia IP não possui apenas vantagens em relação à telefonia PSTN. A qualidade provida pelo serviço de telefonia PSTN é resultado de séculos de experiência, o qual garante cinco noves de qualidade, ou seja, 99,999% do tempo de serviço funcional e com qualidade. Isto se deve ao fato que o mesmo utiliza uma rede baseada em circuitos, a qual garante taxa de transferência, atraso fixo e reduzido, além de não possuir descarte de dados (pois não há sobrecarga de rede).

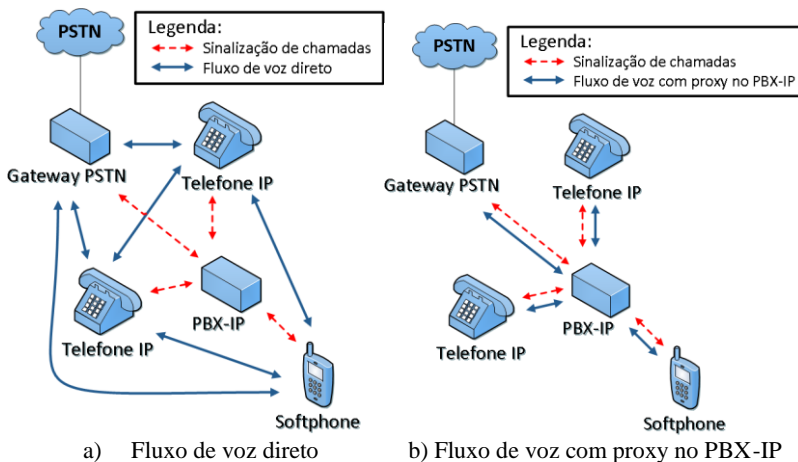
Em contrapartida, as redes IP oferecem um serviço baseado no melhor esforço, sem garantias de taxa de transferência, com atraso e *jitter* variável, podendo ocorrer perda de pacotes. Neste sentido, o maior desafio da telefonia IP é manter a qualidade equiparável à qualidade provida pelo serviço de telefonia comutada. Mesmo com todos esses aspectos, a rede IP otimiza a utilização da banda pelas diferentes aplicações, possibilitando maior priorização do tráfego de voz. A

telefonia IP, por sua vez, possui recursos como supressão de silêncio e buffers de *de jitter* para ajudar na minimização desses problemas, como será visto no próximo capítulo.

## 2.2. COMPONENTES DA TELEFONIA IP

São diversos os componentes envolvidos no provimento dos serviços da telefonia IP. A Figura 1 apresenta um ambiente mínimo de telefonia IP, onde se podem ver os seguintes componentes: telefones IP/*softphones*, PBX-IP e *Gateway* PSTN.

Figura 1 – Ambiente mínimo de telefonia IP



Os telefones IP e os *softphones* são os chamados agentes usuários, responsáveis, dentre outros serviços, por iniciar e receber chamadas. Telefones IP são aparelhos dedicados que, dentre outras funções, permite a realização de chamadas telefônicas via a rede IP. Os *softphones* são *softwares* que, instalados em equipamentos como computadores, *tablets* ou *smartphones*, emulam as funcionalidades providas pelos telefones IP. Ambos são responsáveis pela digitalização da voz e geração de pacotes de voz, que são transmitidos via rede IP. A transmissão de pacotes de voz via rede IP também é conhecida pelo termo fluxo de voz.

O PBX-IP (*Private Branch Exchange - Internet Protocol*) é o componente da telefonia IP responsável por gerenciar, registrar, encaminhar e contabilizar chamadas entre os agentes usuários da telefonia IP. Este componente realiza o gerenciamento dos usuários do

serviço, incluindo funcionalidades para autenticação, controle de status dos usuários e serviços da PBX-IP. Ele ainda realiza o controle dos prefixos e faixas utilizados pela instituição. Há a funcionalidade de contabilização das chamadas, console do serviço, serviços avançados e gerenciamento dos usuários administrativos que gerenciam a PBX-IP. É no PBX-IP que gerenciamento dos usuários do serviço acontece, o que permite realizar configurações de diferentes privilégios de chamadas para cada usuário, limitando a realização ou não de determinado tipo de chamada, como por exemplo, chamadas de longa distância.

Existem duas opções de encaminhamento do fluxo de voz entre agentes usuário. O primeiro é o Fluxo de voz Direto (Figura 1a), onde o tráfego de voz é diretamente entre os agentes usuários (Telefone IP, *Softphone* ou *Gateway* PSTN). A segunda opção é o Fluxo de voz com *proxy* no PBX-IP, como ilustrado na Figura 1b, neste caso o PBX-IP atua também como *proxy* de voz, permitindo que os fluxos de voz passem por ele. Habilitando o fluxo de voz no PBX-IP, há a possibilidade de ter um maior controle sobre os fluxos de voz. Em redes de telefonia IP implementadas em redes IP com endereçamento privado, o PBX-IP pode atuar com um NAT (*Network Address Translation*) para VoIP quando há a necessidade de interconectar a telefonia IP com outros serviços de telefonia IP. Não habilitando o *proxy* de voz, os recursos da rede IP são melhor utilizados, sendo que os fluxos de voz são encaminhados diretamente entre os demais componentes.

Uma funcionalidade importante em ambientes de telefonia IP é a autoconfiguração de telefones IP. Esta autoconfiguração, de forma similar àquela provida pelo protocolo DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*), é importante para que os usuários do serviço não se preocupem com configurações complexas e que requerem conhecimento prévio. Esta funcionalidade de autoconfiguração dos telefones IP é suportada pelos PBX-IPs através do serviço de provisionamento. Ela permite que os telefones sejam configurados em um servidor central, sendo que os telefones IP baixam suas configurações via rede IP do PBX-IP.

O *Gateway* PSTN é o componente que realiza a interface entre a telefonia IP e a telefonia convencional (PSTN ou outra tecnologia), permitindo assim que ocorram ligações entre a telefonia IP e a telefonia convencional (em ambos os sentidos). Além disso, o *gateway* pode realizar a contabilização das chamadas que trafegam por ele e também aplicar regras de filtragem (por exemplo, podendo ou não permitir determinado tipo de chamadas). Também há no *gateway* o controle de

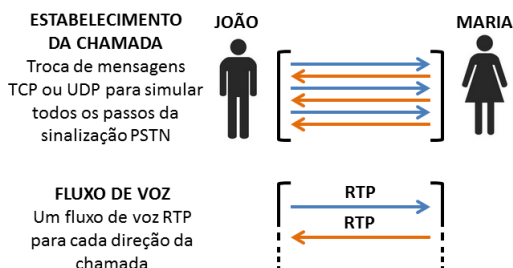
status dos serviços dele, console do serviço e gerenciamento dos usuários administrativos.

## 2.3. PROTOCOLOS DA TELEFONIA IP

O serviço de telefonia IP possui basicamente dois tipos de protocolos: de sinalização de chamadas e de transmissão de pacotes de voz. A Figura 2 ilustra o uso destes dois tipos de protocolos envolvidos na sinalização de chamadas e na transmissão do fluxo de voz.

Como ilustrado na Figura 2, inicialmente o protocolo de sinalização deve realizar o estabelecimento da chamada. Esta etapa é equiparável à sinalização de chamada da PSTN (para que o usuário ouça o sinal quando retirado o fone do gancho, após digitar o número correspondente, ouvir o sinal da chamada até o atendimento ou ouvir o sinal de ocupado). Como visto na Figura 1, a sinalização de chamadas pode iniciar por telefones IP ou *softphones*, ou ainda pelo Gateway PSTN (quando do recebimento de chamadas originadas na PSTN). O PBX-IP atua geralmente como um *proxy* de sinalização, sendo que os demais componentes enviam a sinalização para ele.

Figura 2 – Processo para o estabelecimento de uma chamada IP



Após o estabelecimento da chamada, o protocolo de transmissão de pacotes de voz é responsável pela transmissão dos fluxos de voz entre os componentes da telefonia IP (telefones IP, *softphones*, PBX-IP e Gateways PSTN).

### 2.3.1. Protocolos de Sinalização

Existem duas principais alternativas para realizar a sinalização na telefonia IP: o padrão H.323 (ITU-T, 2009) e o protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*) (HANDLEY et al., 1999). Atualmente, o protocolo SIP é o mais utilizado na implantação de serviços de telefonia IP, pois se trata de um protocolo mais simples em comparação com o H.323. O H.323 é mais utilizado para serviços de videoconferência, visto que os principais fabricantes do mercado têm uma base de produtos consolidada no protocolo H.323.

Devido ao uso extensivo do protocolo SIP na telefonia IP, esta dissertação tratará exclusivamente deste protocolo. O SIP foi definido pela IETF (*Internet Engineering Task Force*), através da RFC 2543 (HANDLEY et al., 1999), como um protocolo da camada de aplicação para criar e gerenciar sessões multimídia. Ele foi projetado para ser simples, modular, extensível e de fácil integração aos demais serviços da rede IP.

O protocolo SIP é baseado em dois tipos de mensagem: requisição e resposta. As requisições são definidas a partir de métodos SIP, sendo que as principais mensagens de requisição são descritas na Tabela 1, e as classes de resposta existentes no SIP são descritas na Tabela 2.

Tabela 1 – Principais mensagens de requisições do SIP

<b>Método SIP</b>	<b>Funcionalidade</b>
INVITE	Convida um participante para uma sessão
ACK	Confirma o recebimento de uma resposta final para uma requisição INVITE
BYE	Solicita o término de uma sessão
CANCEL	Solicita o cancelamento de uma requisição
REGISTER	Registra informações de contato do indivíduo
OPTIONS	Consulta servidores a respeito de capacidade
PUBLISH	Publica um evento ao servidor

Tabela 2 – Classes de resposta do SIP

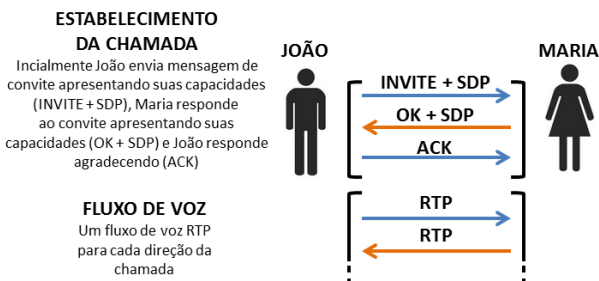
<b>Classe</b>	<b>Funcionalidade</b>
1xx	Informativo
2xx	Sucesso
3xx	Redirecionamento
4xx	Falha de requisição
5xx	Falha de servidor
6xx	Falha global

No SIP, o campo método define os diferentes pacotes de eventos (*event packages*) e o código de resposta define que tipo de resposta está sendo enviada.

Para realizar a negociação dos parâmetros de áudio de uma chamada o SIP se utiliza do protocolo companheiro SDP (*Session Description Protocol*) (HANDLEY e JACOBSON, 2006). No SIP, os métodos INVITE e ACK são utilizados para realizar o estabelecimento de uma chamada entre dois participantes (Figura 3). O SDP é incorporado nestes dois métodos e nas respostas 200 OK e 18x (JOHNSTON et al., 2003).

O estabelecimento de uma chamada entre dois participantes utilizando o SIP é descrito na Figura 3. Pela figura, João invoca o método SIP INVITE para iniciar o estabelecimento da chamada. Juntamente com o método SIP, é incorporado o protocolo SDP para descrever as capacidades e recursos do terminal do João. Ao receber a mensagem SIP INVITE, o terminal de Maria responde ao convite com a resposta 200 OK. Nesta resposta, o terminal de João inclui as capacidades e recursos do terminal de Maria. Ao receber a resposta do terminal de Maria, o terminal de João envia uma mensagem de agradecimento (SIP ACK) e logo após os dois iniciam a troca de fluxos de voz com as capacidades e recursos previamente negociados.

Figura 3 – Processo para o estabelecimento de uma chamada IP utilizando o protocolo SIP



Logo após o estabelecimento de uma chamada entre os participantes inicia-se a conversão via voz entre os participantes da chamada. Neste momento, a voz de cada participante é amostrada e as amostras irão compor os pacotes de voz. O tamanho do pacote de voz pode ser expresso em termos de duração da voz ou tamanho em bytes. A duração de um pacote de voz é dependente do CODEC utilizado, em



geral ele varia entre 20 ms a 30 ms. O tamanho em bytes do pacote de voz depende do CODEC utilizado, que define o tamanho da amostra de voz e o número de amostras por segundo (taxa de amostragem). Note que os pacotes de voz são encapsulados em pacotes IP utilizando o protocolo de transmissão de pacotes de voz.

### 2.3.2. Protocolos de Transmissão de Pacotes de Voz

No cenário de telefonia IP, o protocolo de transmissão de pacotes de voz mais adotado é o RTP (*Real-time Transport Protocol*) (SCHULZINNE et al., 2003). O Protocolo RTP é utilizado principalmente pelos telefones IP, *softphones* e Gateway PSTN, além da PBX-IP quando configurada para ser *proxy* de voz (Figura 1).

O cabeçalho do RTP transporta informações importantes para a manipulação do pacote de voz que ele transporta. Dentre outras informações, o pacote RTP contém informação para sincronização da apresentação da voz e de controle de perdas.

O protocolo companheiro do RTP é o RTCP (*Real Time Control Protocol*) (SCHULZINNE et al., 2003), que controla as informações sobre os fluxos de voz, como relatórios de QoS sobre os fluxos de voz. Esses relatórios de QoS do RTCP são enviados periodicamente pela fonte e destino. Os principais parâmetros de qualidade disponíveis no RTCP são: atraso, variação de atraso e perda de pacote.

Outros protocolos projetados para transporte de sessões multimídia são o SCTP – *Stream Control Transmission Protocol* (STEWART, 2007) definido pela RFC 4960, e o DCCP – *Datagram Congestion Control Protocol* (KOHLE, HANDLEY e FLOYD, 2006). Estes dois protocolos são raramente utilizados na telefonia IP.

## 2.4. CODIFICADORES DE MÍDIA

Os codificadores e decodificadores de mídia, ou simplesmente CODEC, são dispositivos ou *softwares* capazes de codificar ou decodificar um sinal ou um fluxo de dados digitais. Os principais CODECs de voz utilizados nos ambientes de telefonia IP são:

- G.711 (ITU-T, 1988): é o codec utilizado na telefonia PSTN. As principais características deste CODEC são a baixa utilização de CPU, taxa de amostragem de 8000 amostras por segundo, tamanho da amostra de 8 bits, taxa de bits de 64kbps. Este CODEC possui duas versões, A-law e U-law, sendo que a principal diferença entre

as duas versões está no método de amostragem do sinal analógico; e

- G.729 (ITU-T, 2012): otimiza a utilização de banda com excelente qualidade de voz. Ele adota uma taxa de amostragem de 8000 amostras por segundo, tamanho da amostra de 8 bits e banda de 8kbps. O G.729 é mais utilizado em locais com restrição de banda.

Os CODECs diferenciam-se entre si pelas técnicas de codificação, decodificação e compressão de dados. Estes fatores limitam a qualidade máxima que é possível atingir. Portanto, a escolha do CODEC influencia diretamente na qualidade da voz sentida pelos usuários. Uma comparação entre CODECs vs QoS será apresentada na seção 3.5.

## 2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo teve por objetivo apresentar conceitos importantes relacionados ao serviço de telefonia IP essenciais para o entendimento da proposta desta dissertação. O próximo capítulo analisa especificamente a manutenção da qualidade de serviço de telefonia IP, principal problema tratado nesta dissertação.

### 3. QUALIDADE DE SERVIÇO EM TELEFONIA IP

Há alguns anos atrás, o serviço de telefonia se baseava exclusivamente no uso de circuitos dedicados para o transporte da voz. As redes que utilizam comutação de circuito possuem como característica garantir maior qualidade, pois elas oferecem garantias de taxa de transferência, atraso fixo e reduzido, além de não possuírem descartes de dados devido a não haver sobrecarga da rede. Mas em compensação, a eficiência de utilização dos recursos da rede é baixa (DA ROCHA, 2005).

Nos dias atuais, com a telefonia IP se tem a convergência de dados e voz em um canal compartilhado, a rede IP. Esta convergência permite otimizar a utilização da infraestrutura de rede, assim como apresentado na seção 2.1.

A telefonia IP não tem apenas vantagens em relação à telefonia convencional. Uma das desvantagens é que muitas vezes as redes IP não oferecem garantias de Qualidade de Serviço (QoS). Em geral, elas se baseiam no modelo de serviço Melhor Esforço (BE - *Best Effort*), não oferecendo nenhuma garantia de qualidade no caso de redes congestionadas.

Além da rede, a qualidade da voz é afetada por vários outros fatores, como eco, supressão de silêncio, falta de um ruído de conforto, voz robotizada, voz entrecortada (picotada), voz muito alta ou muito baixa, demora excessiva nas respostas e quedas de comunicação. Estes fatores podem ser produzidos tanto pela rede como pelos outros componentes da telefonia IP (como telefones IPs, *softphones*, *gateway* PSTN e/ou PBX-IP). Em relação aos componentes de telefonia IP, o CODEC, por sua vez, limita a qualidade máxima. Isto porque são técnicas de compressão e codificação diferentes que são empregadas por cada tipo de CODEC.

Pelos motivos expostos acima, garantir uma qualidade na telefonia IP equiparável ao serviço de telefonia PSTN ainda é um desafio. Este capítulo tem por objetivo descrever diversos aspectos de QoS em telefonia IP. Serão introduzidas as métricas de QoS para telefonia IP, os impactos da QoS na qualidade da voz e a relação entre os CODECs e a QoS. Além disso, serão introduzidos alguns tipos de relatórios de QoS emitidos pelos componentes da telefonia IP, bem como a apresentação das principais técnicas de monitoramento de QoS para telefonia IP.

Como visto no Capítulo 1, pode-se classificar as métricas de qualidade como objetivas e subjetivas. Por sua vez, as métricas objetivas

podem ser subdivididas em parâmetros de desempenho do sistema e métricas de estimativa da qualidade percebida por um usuário médio.

### 3.1. MÉTRICAS OBJETIVAS DE DESEMPENHO

Métricas de desempenho são chamadas aqui as medidas de desempenho do serviço, como atraso, variação de atraso e taxa de perda de pacotes. Estas métricas de desempenho são úteis no gerenciamento de redes, embora no monitoramento da Telefonia IP, muitas vezes isoladamente acabam sendo insuficientes para representar a real qualidade das chamadas.

Esta seção apresenta as principais métricas de desempenho utilizadas em sistemas de telefonia IP.

#### 3.1.1. Atraso

O atraso é a métrica que quantifica o tempo que um pacote leva para trafegar entre dois pontos de observação. O atraso é geralmente medido em segundos ou submúltiplos (tipicamente milissegundos). O atraso no fluxo de voz ocorre devido a diversos fatores, desde o tempo de processamento na fonte, acesso à rede, processamento e enfileiramento nos nós de rede intermediários, serialização e propagação nos vários enlaces ligando estes nós, ao processamento no destino.

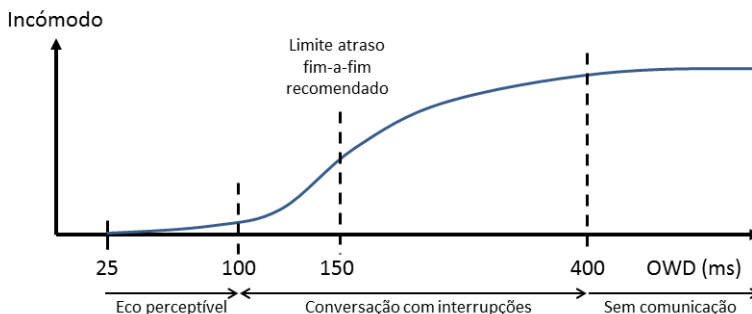
Existem duas variações principais da métrica atraso: atraso bidirecional (RTT – *Round Trip Time*), definida pela RFC 2681 (ALMES et al., 1999a); e atraso unidirecional (OWD – *One Way Delay*) definida pela RFC 2679 (ALMES et al., 1999b). A diferença entre estas duas formas de medir o atraso é que o RTT considera o tempo levado na transmissão de um ponto A para um ponto B, mais o tempo de processamento da resposta em B, mais o tempo de transmissão da resposta do ponto B ao ponto A. Já o OWD é o tempo de transmissão de um pacote de um ponto A para um ponto B somente.

Estas métricas de atraso permitem detectar sintomas de congestionamento na rede. Isso devido ao aumento ou variação excessiva do atraso oriundo do processamento e enfileiramento nos roteadores. Em telefonia IP, o atraso perceptível pelo usuário é causado desde o atraso de digitalização e codificação de voz, atraso de transmissão até o destino, desempacotamento e apresentação da voz ao receptor.

Figura 4 apresenta os limites de OWD para ambientes de telefonia IP. Segundo a ITU-T G.114 (ITU-T, 2003), no caso da telefonia IP o atraso OWD não deveria ultrapassar 150 ms (

Figura 4). Esta recomendação também define que OWD entre 150 ms e 400 ms são aceitáveis, todavia provocam certa degradação de qualidade. Valores superiores a 400 ms são inaceitáveis para o serviço de telefonia IP.

Figura 4 – Percepção da qualidade de uma chamada VoIP de acordo com o Atraso



Os efeitos do atraso para o chamador geralmente aparecem como locutor de eco e sobreposição das conversas (efeito “*Walk Talk*”). Segundo a ITU.T G.131 (ITU-T, 2004), atrasos OWD de voz acima de 25 ms provocam eco, que devem ser tratados pelo receptor da voz (telefones IP e *softphones*).

O efeito *Walk Talk* pode gerar problemas na interatividade da chamada, pois o receptor pode falar antes de receber todo o fluxo de voz e atrapalhar toda a conversa, sendo necessário dizer uma frase de informação de que ele parou de falar, como o “Câmbio”, para que o ouvinte comece a responder.

### 3.1.2. Variação do atraso

O atraso não é constante em redes IP devido a vários fatores, incluindo variações de atraso de processamento na fonte e no destino, diferentes tempos de acesso à rede e diferentes atrasos de enfileiramento

nos roteadores. Define-se variação de atraso, ou simplesmente *jitter*, como sendo a diferença entre o atraso do pacote atual e a média do atraso sofrido pelos pacotes que compõem um fluxo de dados (DEMICHELIS e CHIMENTO, 2002). A exemplo do atraso, o *jitter* é medido em segundos ou submúltiplos (tipicamente milissegundos).

Na decodificação da voz, o *jitter* na entrega dos pacotes de voz não é tolerada, pois tornaria a voz muitas vezes incompreensível. No sentido de minimizar o efeito do *jitter*, os componentes da telefonia IP devem eliminar esta variação. Para isso, é utilizado o buffer de *de jitter* (ou também chamado de buffer de apresentação, *playout delay buffer*, ou ainda, de eliminação de *jitter*), que armazena os pacotes de voz à medida que eles chegam, em atrasos variados, e os encaminha para a decodificação na taxa de decodificação. O buffer de *de jitter* é utilizado também na reordenação de pacotes, quando pacotes mais antigos chegam mais tarde que pacotes mais recentes (devido a grandes valores de variação de atraso).

Quanto maior o *jitter* ocasionado pelo sistema de telefonia IP, maior é o tempo de bufferização dos pacotes de voz no buffer de *de jitter*. Note que o tempo de bufferização não pode ser muito grande, pois poderá interferir na qualidade da chamada, onde é importante limitar o tempo total da transmissão do pacote, conforme valores citados na seção 3.1.1. Devido a esta relação, o *jitter* está diretamente ligado à qualidade da chamada e esse tempo não deve ultrapassar 30 ms (MANCAS e MOCANU, 2013). Caso o *jitter* seja muito grande, ocorrem descartes de pacotes significativos no receptor, o que compromete o entendimento da conversa, impactando na QoS da chamada. Nesses casos, é preferível limitar o tamanho do buffer de *de jitter* e quando ocorrem perdas de pacotes de voz, o próprio ouvinte pode solicitar ao interlocutor para repetir o que foi dito.

Os agentes usuários da telefonia IP geralmente monitoram o *jitter* e com esta métrica eles podem realizar adaptações necessárias visando a manutenção da qualidade do serviço (por exemplo, em termos do dimensionamento do buffer de *de jitter*, alteração do CODEC e do tamanho do pacote de voz).

### 3.1.3. Taxa de Perdas de pacotes

A unidade típica para representar a taxa de perda de pacotes é o **percentual (%)**. Esta métrica é definida como o percentual de pacotes

perdidos em relação ao número de pacotes transmitidos em um determinado intervalo de tempo.

As principais razões da ocorrência de perdas de pacotes na rede são o congestionamento e os erros. O congestionamento normalmente se dá quando o volume de tráfego é próximo ao limite de encaminhamento da interface de rede dos equipamentos de transmissão. Quando o volume é maior, parte dos pacotes pode ser descartada nos buffers de encaminhamento nas interfaces de rede dos equipamentos. Os erros acontecem normalmente nas interfaces dos equipamentos de rede e são ocasionados normalmente por problemas físicos de conexão.

Na telefonia IP, a taxa de perda de pacotes pode ser calculada levando em conta os pacotes descartados ou com erro pela própria rede, mais os pacotes descartados nos buffers de *dejitter* pelo próprio receptor.

A medição da taxa de perdas permite prever o desempenho de aplicações sensíveis a perdas de pacotes, como é o caso da telefonia IP, e identificar problemas de comunicação na camada física. Na telefonia IP, o recomendável são perdas de pacotes de até 1% (MANCAS e MOCANU, 2013), visto que perdas maiores degradam muito a qualidade da voz.

Na Figura 5 é feita a relação entre o percentual de perda de pacotes e do atraso (*delay*) com a qualidade das chamadas da telefonia IP. Percebe-se que tanto o percentual de perda de pacotes quanto o atraso afetam a qualidade entregue pela chamada. Nota-se que são medidas inversamente proporcionais, ou seja, quanto menor forem a perda de pacotes e o atraso, maior o grau de qualidade da chamada.

Figura 5 – Relação entre atraso (*delay*) e perda de pacotes com a qualidade das chamadas da telefonia IP (ULTRACOM, 2014)

Delay (ms)	Perda de pacotes (%)						
	<1	1	1,5	2	2,5	3	>3
50	Ótimo	Ótimo	Bom	Bom	Bom	Regular	Ruim
100	Ótimo	Ótimo	Bom	Bom	Bom	Regular	Ruim
150	Ótimo	Ótimo	Bom	Bom	Bom	Regular	Ruim
200	Ótimo	Bom	Bom	Regular	Regular	Regular	Ruim
250	Bom	Regular	Regular	Regular	Ruim	Ruim	Ruim
300	Regular	Regular	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
350	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
400	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim

### 3.2. MOS: MÉTRICA SUBJETIVA DE QUALIDADE

A principal métrica subjetiva de qualidade da telefonia é o MOS (*Mean Opinion Score*) (ITU-T, 1996). Ele é uma medida utilizada há décadas na telefonia como forma de medir subjetivamente a qualidade do ponto de vista dos usuários do serviço. O MOS adota uma escala de 1 a 5, dependendo da qualidade: 5 excelente, 4 bom, 3 médio, 2 ruim e 1 péssimo.

Originalmente, o MOS era determinado apenas a partir de medidas subjetivas com base em avaliações realizadas por usuários reais. Esta abordagem acabava não sendo muito determinística, tendo em vista que os seres humanos têm percepções distintas do que é bom ou ruim, e que há uma limitação quanto aos cenários testados, cobrindo uma parcela reduzida de situações que podem ocorrer na vida real (ALAVI e NIKMEHR, 2010).

### 3.3. MÉTRICAS OBJETIVAS DE QUALIDADE EM TELEFONIA

Com o passar dos anos, surgiram técnicas para estimar o MOS com base em medidas objetivas. Uma das técnicas mais utilizadas em telefonia IP é o E-Model (ITU-T, 2014). O E-Model define um modelo computacional para determinação do fator R (variando de 0 a 100), sendo que este fator pode ser convertido em um MOS estimado.

O fator R é uma métrica única de qualidade da voz que é baseada no conceito definido por (ALLNAT, 1975), o qual define que os “fatores psicológicos na escala psicológica são aditivos”. Este princípio permite ao E-Model ser extensível, pois ele é a adição de diferentes parâmetros específicos (SOUZA e RODRIGUES, 2011).

Tanto o fator R quanto o MOS podem ser calculados quanto à escuta e quanto à conversação (CLARK, 2006). As qualidades de escuta (LQ – *Listening Quality*) considerando o fator R e MOS são chamadas de R-LQ e MOS-LQ, respectivamente. Por sua vez, a qualidade de conversação (CQ – *Conversational Quality*) para o fator R e MOS são chamados de R-CQ e MOS-CQ, respectivamente. A diferença entre as formas de cálculo é que no LQ não se leva em conta os efeitos bidirecionais, como atraso e eco. Já no cálculo da CQ, é considerado o LQ de ambas as direções e também os efeitos bidirecionais (MICROSOFT, 2014).

Outra técnica objetiva existente para avaliação da qualidade em telefonia IP é o ITU-T PESQ (ITU-T, 2001). Embora seja uma técnica de boa precisão, é uma técnica de alto custo computacional (JELASSI et al., 2012).



### 3.4. IMPACTO DA QUALIDADE DA REDE NAS COMUNICAÇÕES DE TELEFONIA IP

Esta seção apresenta os principais impactos das métricas de qualidade das redes IP na qualidade das chamadas da telefonia IP.

#### 3.4.1. Eco

Mesmo na telefonia convencional (PSTN), alguns tipos de eco podem surgir. Um deles é o eco acústico, que ocorre quando o bocal e fone de ouvido são muito próximos, permitindo que o som de saída volte no caminho de retorno. Outro tipo é o eco híbrido, ou também conhecido como eco de linha, que é produzido quando a interface de 2 fios analógica encontra uma interface de 4 fios ao longo do caminho, produzindo desbalanceamento na híbrida (transformação de dois para quatro fios) e refletindo energia elétrica no circuito de 4 fios para o locutor (MORENO, 2004). Normalmente, circuitos com 4 fios são utilizados na rede de transmissão para realizar a interconexão entre os interlocutores e circuitos com 2 fios são utilizados para realizar a interconexão dos clientes.

Já na telefonia IP, como mencionado na seção 3.1.1, OWD superiores a 25 ms podem provocar eco. O eco híbrido nas ligações VoIP pode ocorrer quando uma das pontas da ligação for um ramal da PSTN conectado em uma linha analógica de 2 fios e a outra ponta VoIP. Caso as duas pontas sejam VoIP, o eco híbrido não ocorre. O eco acústico pode ser produzido quando se utiliza o viva-voz ou sistema de microfone mais alto-falante, onde existe realimentação acústica direta (ALIGERA, 2014).

Em geral, para se minimizar o efeito do eco na telefonia IP, são utilizados mecanismos de cancelamento de eco. Estes mecanismos tentam minimizar o efeito tanto do atraso híbrido quanto do atraso acústico. Em geral, eles são implantados nos telefones IP, computadores, dispositivos móveis e nos *gateways* PSTN.

#### 3.4.2. Silêncio Fora do Comum (Supressão de Silêncio)

Para economizar largura de banda, quando um dos locutores envolvidos em uma chamada não está falando, o telefone IP ou *softphone* pode ser configurado para não enviar nenhum sinal audível. Essa característica é conhecida como supressão de silêncio.

A supressão de silêncio reduz a taxa de bits gerada, mas tem como efeito colateral causar certo desconforto, pois o usuário pode achar que a ligação caiu ou que o lado remoto não está lhe ouvindo mais. Este efeito colateral é minimizado utilizando a tecnologia CNG (*Confort Noise Generator*), que nada mais é que a geração de um ruído de conforto na parte do receptor quando o mesmo recebe a sinalização de supressão de silêncio por parte do emissor. Em outros termos, o receptor gera este ruído e não há tráfego de rede entre o emissor e o receptor nos momentos de silêncio.

Outro efeito causado pela supressão de silêncio é o *clipping*. Como a detecção da interrupção do silêncio não é imediata, os sons iniciais de uma palavra após um período de silêncio podem ser cortados. Este efeito também provoca certo desconforto.

### **3.4.3. Voz entrecortada**

A voz pode chegar ao usuário de forma picotada, devido a perdas ou descartes de pacotes de voz no decorrer da transmissão. A maioria dos CODECs possui mecanismos para atenuar pequenas perdas de pacotes (não superiores a 1%) e atrasos entre 20 e 30 ms, utilizando técnicas de mascaramento de erros em comunicações VoIP como *Packet Loss Concealment* (PLC) e *Forward Error Correction* (FEC).

### **3.4.4. Voz robotizada**

A voz robotizada é um efeito provocado pela compressão dos pacotes de voz utilizando vocoders (*voice coders*). Vocoders são os CODECs que utilizam codificação paramétrica, que utilizam no decodificador um modelo de produção de voz, cujos parâmetros são estimados e transmitidos pelo codificador em intervalos curtos de tempo (10 a 30 ms).

A classe de codificadores paramétricos mais utilizada é a dos vocoders LPC (*Linear Predictive Coding*) (DENG e O'SHAUGHNESSY, 2003). O método LPC transmite os parâmetros do processo de produção de voz em vez de transmitir a voz em si. Como tal, dificilmente reproduzem o sinal da voz, independentemente da ocorrência de erros no processo de transmissão.

O efeito da voz robotizada pode ser mais ou menos perceptível, dependendo do vocoder utilizado, da taxa de compressão utilizada e do nível de erro no processo de transmissão.

### 3.4.5. Queda da comunicação

A queda de um enlace de comunicação, caso não existam caminhos alternativos, provoca perda total na comunicação da telefonia IP, assim como ocorre na comunicação de dados em situações semelhantes.

## 3.5. CODECS VS QOS

A escolha do CODEC em uma chamada VoIP influencia diretamente na qualidade da voz máxima obtida em uma chamada. A Tabela 3 apresenta a relação entre os principais CODECs e o MOS máximo obtido por cada um deles. Esta tabela também apresenta o atraso de compactação, que também tem influência no atraso fim-a-fim, e portanto, no MOS.

Tabela 3 – Relação entre CODECs e MOS (CISCO, 2008)

<b>Método de Compactação</b>	<b>Taxa de Bits (kbps)</b>	<b>Pontuação MOS</b>	<b>Atraso na Compactação (ms)</b>
G.711 PCM	64	4.1	0.75
G.726 ADPCM	32	3.85	1
G.728 LD-CELP	16	3.61	3 a 5
G.729 CS-ACELP	8	3.92	10
G.729a CS-ACELP	8	3.7	10
G.723.1 MP-MLQ	6.3	3.9	30
G.723.1 ACELP	5.3	3.65	30

## 3.6. RELATÓRIOS DE QOS

Nesta seção serão apresentados os protocolos existentes na telefonia IP para reportar parâmetros de QoS medidos nas chamadas VoIP. A seção inicia com a apresentação do RTCP, da sua extensão RTCP XR, e finaliza com a apresentação do pacote de eventos SIP VQ-RTCPXR.

### 3.6.1. RTCP

O RTCP (*Real Time Control Protocol*), definido pela RFC 3550 (SCHULZINNE et al., 2003), permite às fontes e destinos do tráfego

RTP realizarem o controle das informações sobre os fluxos RTP e encaminharem estatísticas *out-of-band*.

Na telefonia IP, uma das principais funções do RTCP é permitir a geração de relatórios de QoS. No RTCP, existem dois tipos relatórios de QoS: relatório do emissor (SR – *Sender Report*) e relatório do receptor (RR – *Receiver Report*). A mensagem RR é periodicamente enviada pelo receptor do fluxo de áudio para reportar parâmetros da chamada ao emissor, incluindo métricas de QoS, como taxa de perda de pacotes e *jitter*, além de parâmetros necessários para o cálculo do atraso. A mensagem SR também é enviada periodicamente, mas no sentido inverso (do emissor para o receptor). Ela contém informações que permitem a sincronização de diferentes tipos de mídia, bem como o número de octetos transmitidos.

As métricas de QoS utilizadas nestes relatórios RR basicamente dizem respeito aos parâmetros de desempenho do serviço, como atraso, variação de atraso e taxa de perdas. A carência de métricas de qualidade objetivas, como o fator R e MOS estimado, reforça a necessidade da utilização da extensão XR do RTCP. Esta extensão possui métricas objetivas de qualidade, incluindo o fator R e MOS estimado.

### 3.6.2. RTCP XR

A RFC 3611 (FRIEDMAN et al., 2003) define uma extensão ao protocolo RTCP na forma de um novo formato de pacote de relatório, chamado de relatório XR (*eXtended Reports*). Este novo formato de pacote de relatório adiciona novos relatórios de QoS para a telefonia IP, além de atender a outras aplicações de *multicast* e de tomografia de rede.

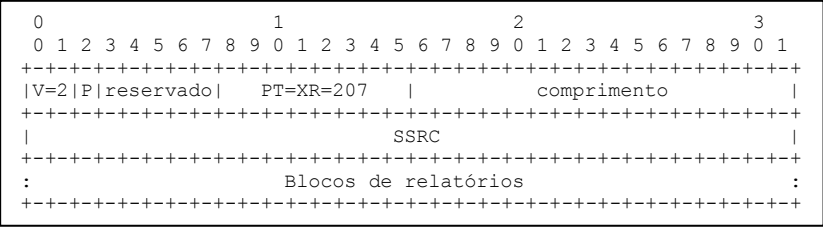
Na telefonia IP, os pacotes de relatório XR são enviados entre os participantes de uma chamada, ou seja, tanto o originador quanto o receptor da chamada enviam e recebem os pacotes XR.

A Figura 6 apresenta o formato do pacote XR, que contém os seguintes campos:

- **V** é o campo da versão do protocolo. Esta especificação se aplica para a versão 2 do RTP;
- **P** é o campo *padding*, campo de preenchimento. Caso este bit seja definido, o pacote XR contém octetos adicionais de preenchimento no final para que ele seja múltiplo de 32 bits;
- **Reservado** para uso futuro;

- **PT** é o campo *Payload Type*, indicando o tipo do pacote, que no caso do XR é o valor 207;
- **Comprimento** indica o tamanho total do pacote;
- **SSRC (*Synchronization Source Identifier*)** é um campo de 32 bits que identifica o participante origem do pacote XR e;
- **Blocos de relatórios** que são blocos de tamanho variável com 7 formatos definidos pela RFC 3511.

Figura 6 – Formato geral do pacote XR (FRIEDMAN et al., 2003)



Os relatórios XR podem ser aplicados em diversos cenários, como transmissão de voz um-a-um ou um-a-muitos, de tomografia de redes (aplicações que permitem identificar o desempenho de enlaces em redes de outros domínios), de transmissão tempo-real e *multicast* de dados multimídia. Dependendo do tipo de aplicação, utilizam-se determinados formatos de bloco de relatórios.

Ao todo, foram definidos 7 formatos de blocos de relatórios que podem ser classificados em 3 categorias:

- **Pacote-a-pacote sobre pacotes RTP recebidos ou perdidos (*packet-by-packet*)**: esta categoria de bloco foi definida para atender a demanda das aplicações de tomografia de rede, como por exemplo, aplicações *multicast* para inferência das características da rede. Esta categoria possui os formatos de blocos de relatório Percentual de Perdas, Duplicação e Tempo de Pacote Recebido;
- **Tempo de referência (*reference time*)**: esta categoria de bloco foi definida para atender as necessidades das aplicações *multicast* baseadas na recepção de pacotes TCP (que realizam o controle de congestionamento). Nesta categoria estão os formatos de bloco de relatório Tempo de Referência do Receptor e DLRR (atraso desde a última recepção do bloco de relatório tempo de referência do receptor); e
- **Resumo de métricas (*summary metric*)**: esta categoria de formato de blocos de relatório foi definida para atender a demanda de

monitoramento de rede. Esta categoria possui os formatos Estatísticas Sumarizadas e Monitoração VoIP.

Dentre os 7 formatos de blocos de relatórios XR definidos, o bloco descritor Monitoração VoIP é particularmente importante para esta dissertação. Como ilustrado na Figura 7, este bloco contém os seguintes campos:

- **BT** é o campo de tipo do bloco (*Block Type*). O bloco descritor Monitoração VoIP é identificado pelo valor BT igual a 7;
- **Reservado** para uso futuro;
- **Comprimento do bloco** que para este formato de bloco possui um valor constante igual a 8;
- **SSRC de origem** é um campo de 32 bits que identifica o participante de origem do pacote XR;
- **Taxa de perda** é a fração de pacotes RTP perdidos desde o começo da recepção;
- **Taxa de descarte** é a fração de pacotes RTP que foram descartados desde o começo da recepção;
- **Densidade de rajada** é a fração de pacotes RTP dentro de períodos de perdas ou descartes em rajada desde o início da recepção que foram perdidos ou descartados. É um período durante o qual ocorrem altas proporções de pacotes que são perdidos ou descartados devido a grandes atrasos;
- **Densidade de lacuna** (*gap*) é a fração de pacotes RTP dentro de lacunas entre rajadas de perdas ou descartes desde o início da recepção que foram perdidos ou descartados;
- **Duração da rajada** é a duração média, expressada em milissegundos, dos períodos de perdas ou descartes em rajadas que ocorreram desde o início da recepção;
- **Duração da lacuna** é a duração média, expressada em milissegundos, dos períodos de lacunas entre rajadas de perdas ou descartes que ocorreram desde o início da recepção;
- **Atraso bidirecional** é o valor do último atraso bidirecional (RTT) calculado entre os pares da chamada, expressado em milissegundos;
- **Atraso fim-a-fim** é o valor do último atraso fim-a-fim do sistema final (telefone IP, *softphone*...) calculado, também expressado em milissegundos;
- **Nível de sinal** é o nível relativo do sinal da voz ao sinal de referência 0 dBm0;

- **Nível de ruído** é o nível de ruído da chamada;
- **RERL** (*Residual Echo Return Loss*) é a perda residual de retorno de eco;
- **Gmin** é o valor limite mínimo que define se uma rajada de voz existe;
- **Fator R** é uma métrica de qualidade de voz descrevendo o segmento de chamada que é realizada ao longo da sessão RTP;
- **Fator R Externo** é uma métrica de qualidade de voz descrevendo o segmento de chamada que é realizado ao longo de um segmento de rede externa ao segmento RTP, por exemplo, uma rede celular;
- **MOS-LQ** é o MOS estimado para a qualidade da escuta;
- **MOS-CQ** é o MOS estimado para a qualidade da conversação;
- **Configuração RX** descreve as configurações do receptor, incluindo campos que descrevem as técnicas adotadas para PLC (*Packet Loss Concealment* – Ocultação de perda de pacotes), JBA (*Jitter Buffer Adaptive* – Buffer Adaptativo de *Jitter*) e JBR (*Jitter Buffer Rate* – Taxa de Buffer de *Dejitter*);
- **Reservado** para uso futuro;
- **JB nominal** é o atraso nominal corrente do buffer de *dejitter* em milissegundos;
- **JB máximo** é o atraso máximo corrente do buffer de *dejitter* em milissegundos; e
- **JB máximo absoluto** é o atraso absoluto máximo em milissegundos que o buffer de *dejitter* adaptativo pode chegar nas piores condições.

Figura 7 – Formato do bloco descritor monitoração VoIP (FRIEDMAN et al., 2003)

0										1										2										3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1								
+-----+																																							

### 3.6.3. VQ-RTCPXR

No SIP (seção 2.3.1), é o campo método (por exemplo: INVITE, ACK e BYE) que define os diferentes pacotes de eventos (*event packages*).

A RFC 6035 (PENDLETON et al., 2010) define um pacote de eventos SIP *vq-rtcpxr* (*Session Initiation Protocol Event Package for Voice Quality Reporting*) que incorpora as métricas reportadas pelos blocos de relatório XR do protocolo RTCP. Em outras palavras, trata-se de um pacote de evento SIP que permite o encaminhamento de relatórios XR de qualidade de voz dentro do corpo de um método SIP. Este pacote de eventos é principalmente voltado a aplicações com tráfego unicast ponto-a-ponto.

No protocolo RTCP XR, os relatórios XR de QoS são enviados entre os pares da comunicação (por exemplo, entre os telefones IP). Com o pacote de eventos SIP *vq-rtcpxr*, é possível enviar os relatórios de qualidade para uma entidade externa.

O pacote de eventos SIP *vq-rtcpxr* presume a existência das seguintes entidades:



- **Publicador (*Reporter*):** responsável pela mensuração e reporte de qualidade da mídia. Trata-se muitas vezes de um agente usuário SIP envolvido em uma sessão de mídia; e
- **Coletor (*Collector*):** responsável em receber eventos SIP *vq-rtcp*rxr. Trata-se normalmente de um *proxy* SIP ou qualquer outra entidade capaz de entender eventos SIP *vq-rtcp*rxr.

Os métodos SIP que podem transportar em seu corpo o pacote de eventos SIP *vq-rtcp*rxr são:

- **PUBLISH:** o publicador envia mensagens SIP PUBLISH ao coletor contendo o pacote de eventos *vq-rtcp*rxr. Opcionalmente, o publicador envia mensagens SIP OPTIONS para o coletor para assegurar o recebimento das mensagens SIP PUBLISH; e
- **SUBSCRIBE/NOTIFY:** o coletor envia uma mensagem SIP SUBSCRIBE para o publicador para explicitamente solicitar informações de qualidade. Então, o publicador envia os relatórios de qualidade ao coletor dentro do corpo de mensagens SIP NOTIFY.

A Figura 8 exemplifica o formato do pacote de eventos SIP *vq-rtcp*rxr no método SIP PUBLISH. Existem diversas classes de parâmetros reportados pelo pacote de eventos, podendo-se destacar: (i) Descrição de sessão, (ii) endereços local e remoto, (iii) variação de atraso, (iv) perda de pacotes, (v) atraso e (vi) parâmetros de qualidade.

Figura 8 – Exemplo do método SIP PUBLISH implementando o pacote de eventos SIP vq-rtcprr

```
PUBLISH sip:collector@example.org SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP pc22.example.org;branch=z9hG4bK3343d7
Max-Forwards: 70
To: <sip:collector@example.org>
From: Alice <sip:alice@example.org>;tag=a3343df32
Call-ID: 1890463548
CSeq: 4321 PUBLISH
Allow: INVITE, ACK, CANCEL, OPTIONS, BYE, REFER, SUBSCRIBE, NOTIFY
Event: vq-rtcprr
Accept: application/sdp, message/sipfrag
Content-Type: application/vq-rtcprr
Content-Length: ...

VQAlertReport: Type=RLQ Severity=Warning Dir=local
CallID: 6dg37f1890463
LocalID: Alice <sip:alice@example.org>
RemoteID: Bill <sip:bill@example.org>
OrigID: Alice <sip:alice@example.org>
LocalGroup: example-phone-55671
RemoteGroup: example-gateway-09871
LocalAddr: IP=10.10.1.100 PORT=5000 SSRC=1a3b5c7d
LocalMAC: 00:1f:5b:cc:21:0f
RemoteAddr: IP=11.1.1.150 PORT=5002 SSRC=0x2468abcd
RemoteMAC: 00:26:08:8e:95:02
Metrics:
Timestamps: START=2004-10-10T18:23:43Z STOP=2004-10-01T18:26:02Z
SessionDesc: PT=0 PD=PCMU SR=8000 FD=20 FO=160 FPP=1 PPS=50 PLC=3
SSUP=on
JitterBuffer: JBA=3 JBR=2 JBN=40 JBM=80 JBX=120
PacketLoss: NLR=5.0 JDR=2.0
BurstGapLoss: BLD=0 BD=0 GLD=2.0 GD=500 GMIN=16
Delay: RTD=200 ESD=140 SOWD=200 IAJ=2 MAJ=10
Signal: SL=-12 NL=-30 RERL=55
QualityEst: RLQ=60 RCQ=55 EXTR=90 MOSLQ=2.4 MOSCQ=2.3
QoEEstAlg=P.564
RemoteMetrics:
Timestamps: START=2004-10-10T18:23:43Z STOP=2004-10-01T18:26:02Z
SessionDesc: PT=0 PD=PCMU SR=8000 FD=20 FO=160 FPP=1 PPS=50 PLC=3
SSUP=on
JitterBuffer: JBA=3 JBR=2 JBN=40 JBM=80 JBX=120
PacketLoss: NLR=5.0 JDR=2.0
BurstGapLoss: BLD=0 BD=0 GLD=2.0 GD=500 GMIN=16
Delay: RTD=200 ESD=140 SOWD=200 IAJ=2 MAJ=10
Signal: SL=-23 NL=-60 RERL=55
QualityEst: RLQ=90 RCQ=85 EXTR=90 MOSLQ=4.2 MOSCQ=4.3
QoEEstAlg=P.564
DialogID: 1890463548@alice.example.org;to-tag=8472761; from-
tag=9123dh3111
```

### 3.7. TÉCNICAS DE MONITORAMENTO DE QOS PARA A TELEFONIA IP

Já existem algumas propostas de soluções de monitoramento da qualidade aplicáveis à telefonia IP (BIRKE et al., 2010; KIM et al.,

2006; DE LIMA et al., 2005; e CARDEAL et al., 2011). Essas soluções utilizam estratégias diferentes, cada uma com suas particularidades e visões específicas sobre o monitoramento de qualidade. Esta seção apresenta estes trabalhos relacionados a esta dissertação, que incluem uma classificação das técnicas de monitoramento de QoS e uma análise das estratégias não intrusivas existentes.

### 3.7.1. Classificação das Técnicas de Monitoramento de Qualidade

Existem diferentes técnicas de monitoramento de qualidade para diversos tipos de serviços, incluindo a telefonia IP. Estas técnicas podem ser classificadas sob diferentes aspectos (JELASSI et al., 2012). Os dois principais aspectos levados em conta para esta classificação são: quanto à utilização ou não de tráfego sintético na rede; e quanto à métrica de qualidade adotada.

Do ponto de vista da métrica de qualidade adotada, as técnicas podem ser classificadas em:

- **Subjetivas:** se referem a quantificar a qualidade utilizando métricas psicológicas, que se baseiam na opinião do usuário. A métrica mais conhecida é o MOS, quando estimado pelos usuários; e
- **Objetivas:** se referem a quantificar a QoS oferecida pela rede através de parâmetros de desempenho da rede, como atraso, *jitter*, taxa de perda de pacotes, fator R estimado e MOS estimado, aquelas utilizadas nesta dissertação. Estas medidas não se baseiam na opinião dos usuários do serviço.

As técnicas de métricas de qualidade apresentadas acima são complementares. Entretanto, do ponto de vista de um serviço de telefonia IP, as métricas objetivas têm maior aplicabilidade. Isto se deve ao fato das mesmas poderem ser calculadas baseadas em métricas geradas pelo próprio sistema de telefonia IP, não necessitando ter o *feedback* dos usuários.

Do ponto de vista da utilização de tráfego sintético, uma técnica pode ser classificada em:

- **Intrusiva:** são aquelas técnicas que inserem tráfego artificial (ou sintético) na rede, e é realizada uma medição da qualidade oferecida pela rede para este tráfego artificial. Para realizar o monitoramento intrusivo nos serviços de telefonia IP, é necessário utilizar sondas espalhadas no serviço de telefonia IP, capazes de

simular chamadas e de realizar a análise do tráfego recebido pelo receptor. Esta análise pode produzir indicadores de qualidade oferecida pela rede; e

- **Não intrusiva:** são técnicas que monitoram a qualidade com base no tráfego VoIP real, que é gerado pelos componentes do serviço. Para realizar este tipo de monitoramento, é necessário capturar o tráfego para servidores de monitoramento. Para o encaminhamento do tráfego aos servidores pode-se utilizar da técnica de espelhamento de portas de equipamentos de rede. Outra forma de analisar a qualidade da rede é via obtenção de dados sumarizados dos equipamentos envolvidos no serviço, por exemplo, utilizando o protocolo SNMP, Web Services, captura de relatórios de qualidade do RTCP, ou recebimento de pacotes de eventos SIP `vq-rtcp`, como é o caso desta dissertação.

Tanto as técnicas intrusivas quanto as não intrusivas tem sua aplicabilidade no monitoramento de qualidade em serviços de telefonia IP. Cada uma tem suas vantagens e desvantagens. A técnica intrusiva é mais utilizada para mensuração de capacidade da rede IP e análise da qualidade em ambientes de laboratório (JELASSI et al., 2012). Já a técnica não intrusiva, tem uma aplicabilidade mais abrangente, visto que a mesma pode ser empregada em ambientes de telefonia IP de produção, possibilitando fazer uma análise do tráfego de voz em tempo real do sistema de telefonia IP (JELASSI et al., 2012). No contexto desta dissertação, as técnicas não intrusivas são mais relevantes visto que conseguem gerenciar e monitorar chamadas IP com poder computacional menor e com maior segurança, visto que não analisam o conteúdo da mídia.

### 3.7.2. Técnicas de Monitoramento de Qualidade Não Intrusivas

Como visto na seção anterior, as técnicas não intrusivas e que geram métricas objetivas de qualidade são mais adequadas para serem utilizadas no monitoramento de qualidade da telefonia IP (JELASSI et al., 2012). Devido a isto, nesta dissertação serão analisadas somente estas técnicas.

A primeira técnica analisada aqui é aquela proposta por Birke et al. (2010). Neste trabalho, os autores propõem um sistema de medição não intrusivo para monitorar a qualidade das chamadas de telefonia IP. O sistema foi testado em um ambiente de um provedor de acesso

comercial. A estratégia adotada foi instalar dois servidores de gerenciamento de qualidade em dois Pontos de Presença (PoPs) de rede. Em cada PoP, o tráfego da rede, inclusive o tráfego da telefonia IP (sinalização e voz), são espelhados para um servidor de qualidade. Na recepção deste tráfego espelhado, os dois servidores de qualidade realizam a filtragem do tráfego de voz, processamento e cálculo de estatísticas.

Birke et al. (2010) adotaram as seguintes métricas objetivas: duração da chamada, média do RTT da chamada, taxa de perda de pacotes no fluxo, *jitter* do fluxo e MOS estimado do fluxo. Como visto, os autores adotaram métricas objetivas. No contexto deste cenário de testes, a escolha por métricas objetivas é mais indicado visto que estão fazendo a análise dos fluxos de voz de um sistema de telefonia IP em produção, o que facilita a análise e gera indicadores reais para os administradores do sistema.

Todavia, uma limitação da proposta de Birke et al. (2010) é a escalabilidade da análise fim-a-fim, sendo que a carga do processamento é proporcional ao montante de tráfego e ao número de PoPs. Para ambientes de pequeno porte, esta forma de análise é aplicável. Entretanto, em ambientes maiores, com um número maior de telefones espalhados por diferentes redes, esta proposta necessita de muitos servidores de qualidade para realizar a coleta e análise do tráfego, o que torna sua implantação mais difícil.

A segunda técnica analisada é a apresentada por Kim et al. (2006). Neste trabalho, os autores propõem uma solução de monitoramento de qualidade fim-a-fim para NGN (*Next Generation Networking*) que se baseia em agentes integrados aos terminais IPs de áudio e vídeo. Estes agentes realizam medições de QoS que em seguida são encaminhadas para o par da chamada usando uma extensão do relatório XR do protocolo RTCP. Este relatório XR estendido é apresentado na Figura 9. Em relação ao relatório XR (como apresentado na Seção 3.6.2), a extensão proposta inclui novos relatórios com parâmetros de QoS para o protocolo SIP (contém informações de QoS da chamada e dos pares dela) e para o fluxo de voz ou vídeo.

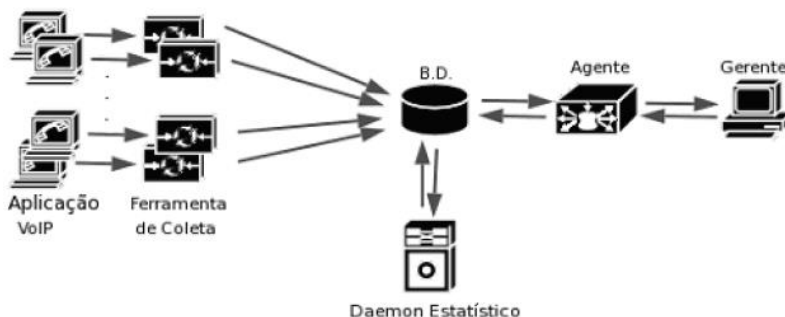
Figura 9 – Relatório XR estendida com métricas de QoS (KIM et al., 2006)

	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
header		V=2	P	Block Count				PT=207								Length								
SIP QoS Metrics	Block Type = 100				Reserv								Length											
	Source DN																							
	Destination DN																							
	Source IP																							
	Destination IP																							
	Call ID (128 Byte)																							
	Call Start Time																							
	Call End Time																							
	Service Type				Agent Type								QoS Measurement Mode											
				OS Type								CPU Speed												
				RAM Size								Call Success Result												
Audio/ Video QoS Metrics	Block Type = 101 / 102				Reserv								Length											
	SSRC																							
	Total Sent Packets																							
	Total Receive Packets																							
	BPS (Kpbs)																							
	One Way Delay (Min)								One Way Delay (Avg)															
	One Way Delay (Max)								Jitter															
	R-Value								MOS-Value															
Resolution (Width)								Resolution (Height)																

No contexto desta proposta, a escolha por métricas objetivas é coerente, visto que serão os agentes usuários que irão disponibilizar estas métricas na extensão proposta. Entretanto, a proposta de Kim et al. (2006) apresenta limitações quanto ao envio das métricas para um servidor externo, visto que as informações são processadas em cada agente usuário, não tendo uma forma padronizada para exportar estas informações para um coletor externa. Isso dificulta a análise geral de um serviço de telefonia IP. Além do envio das informações para um coletor externo, esta técnica requer alteração do agente usuário para realizar esta exportação.

A terceira técnica analisada aqui é a proposta de De Lima et al. (2005). Neste trabalho, os autores propõem um sistema que se baseia na utilização de uma ferramenta que coleta diversos parâmetros dos terminais de telefonia IP durante as chamadas IP, como hora da chamada, perda de pacotes e atraso. A ferramenta foi implementada em um *softphone* em forma de módulo, posicionando-a na frente da aplicação VoIP, como pode ser mais bem observado na Figura 10, a qual apresenta a arquitetura de gerência desta proposta. Os parâmetros coletados pelas ferramentas são armazenados em um banco de dados centralizado e são utilizados em análises estatísticas. Um agente SNMP (CASE et al., 1990) mapeia os dados do banco de dados relacional para uma estrutura de uma árvore MIB SNMP e disponibiliza os dados para aplicações de gerência. Neste trabalho é definida uma MIB SNMP para VoIP QoS que é apresentada na Figura 11.

Figura 10 – Arquitetura do ambiente de gerência (DE LIMA et al., 2005)



Assim como os trabalhos anteriores, a escolha por métricas objetivas é correta, visto que é proposto um sistema que será incorporado em um *softphone* e este gerará indicadores de qualidade para o serviço de telefonia IP. Apesar da proposta de De Lima et al. (2005) se demonstrar escalável, seria necessário implantar o módulo proposto em mais agentes usuários, sendo que a proposta foi implementada em apenas um.

Figura 11 – MIB SNMP para VoIP QoS (DE LIMA et al., 2005)



A quarta técnica analisada é a proposta por Cardeal et al. (2011). Os autores descrevem o ArQoS, um sistema de monitoramento de qualidade da rede e dos serviços de telecomunicações, utilizado em uma operadora de Telecom de Portugal.

O sistema ArQoS é composto por dois tipos de agentes: o agente ativo, que intrusivamente gera diferentes tipos de chamadas de testes, simulando as atividades típicas dos usuários em diferentes tipos de redes (fixa/móvel/IP); e o agente passivo, que coleta, analisa e processa o tráfego VoIP de testes e real (sinalização e pacotes de voz) próximos dos

componentes como telefones IP, *gateways* e *proxies* VoIP, gerando estatísticas de qualidade. As métricas coletadas são métricas objetivas, como perdas, *jitter* e MOS estimado.

Apesar do cenário de implantação ser bastante abrangente, esta proposta tem a mesma limitação dos trabalhos anteriores, nos quais falta escalabilidade para efetuar a análise dos dados de telefonia IP. Sendo que para a implementação do mesmo, seria necessário espalhar vários agentes (passivos/ativos) na infraestrutura do serviço, tornando difícil sua implementação.

Note que o uso do sistema proposto nesta dissertação possibilita o monitoramento da qualidade apenas em componentes suportando o SIP *vq-rtcp*. Por se tratar de um pacote de eventos recente, poucos fabricantes de componentes da telefonia IP implementam essa extensão. Contudo, na vanguarda de sua implementação, estão os grandes fabricantes de equipamentos de telefonia IP, como Polycom e Cisco. Assim, espera-se que o SIP *vq-rtcp* seja suportado pela maioria dos equipamentos em um futuro próximo.

### 3.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo teve por objetivo apresentar aspectos relevantes a respeito da QoS sobre o serviço de telefonia IP, tratando sobre as principais métricas, impactos da QoS nas chamadas da telefonia IP, relação CODECs vs QoS, apresentando os relatórios existentes para reportar a QoS na telefonia IP e as técnicas de monitoramento de QoS na telefonia IP.

Com base na análise apresentada das técnicas de monitoramento não intrusivas, pôde-se perceber que estas técnicas utilizam-se de mecanismos de monitoramento bastante tradicionais, podendo-se citar o espelhamento de portas e a análise de *traces* das aplicações VoIP.

Nesta dissertação, pretende-se utilizar mecanismos de monitoramento já existentes na infraestrutura de telefonia IP, como o uso do protocolo RTCP XR para gerar as estatísticas de QoS e do pacote de eventos SIP *vq-rtcp* para centralizar essas informações e poder realizar análise da qualidade do serviço de telefonia IP.

Como medida complementar, existem mecanismos que podem ser implementados diretamente na rede IP para minimizar problemas inerentes à telefonia IP. Neste viés, podem-se citar a priorização do tráfego de voz em relação aos demais tráfegos e o aumento dos buffers nos terminais VoIP.



O próximo capítulo apresenta a proposta de monitoramento de qualidade do serviço de telefonia IP desta dissertação.

#### **4. SISTEMA DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE EM SERVIÇOS DE TELEFONIA IP**

Nesta dissertação já foram apresentadas diversas vantagens da telefonia IP em relação à telefonia PSTN. Entretanto, como visto na Seção 2.1 um dos principais dificuldades desafios da telefonia IP é a manutenção da qualidade do serviço. Por isto, há a necessidade da utilização de sistemas de monitoramento para prover o serviço com um grau de qualidade mais elevado.

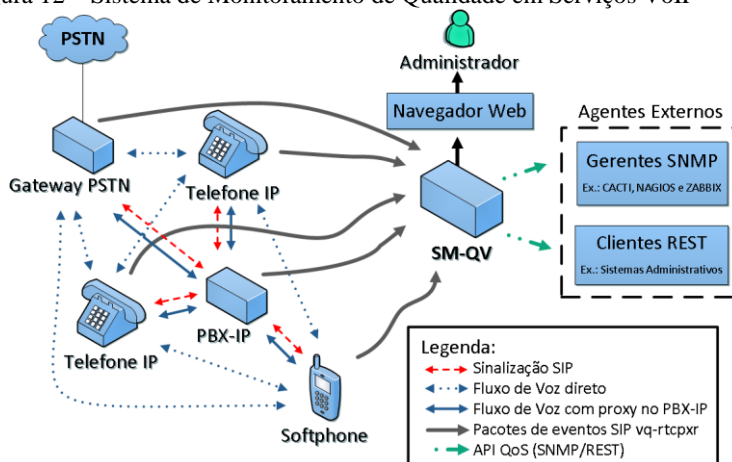
De maneira geral, corporações que utilizam os serviços de telefonia IP acabam monitorando o mesmo com ferramentas tradicionais da área de monitoramento de redes, como CACTI (2014), NAGIOS (2014) e ZABBIX (2014). Essas ferramentas se limitam a monitorar métricas de QoS no nível da rede, como largura de banda, erros, descartes e disponibilidade. Métricas de qualidade para a telefonia IP não são cobertas por essas ferramentas.

Fabricantes como a Telchemy (2014), Mainwork (2014) e Solarwinds (2014) possuem ferramentas comerciais de monitoramento de qualidade para VoIP. Entretanto, estas ferramentas, além de serem produtos comerciais, não possuem uma visão de gerenciamento entre diferentes subredes, tampouco oferecem APIs padronizadas (utilizando o protocolo SNMP ou serviços Web) para que sistemas de terceiros possam consumir os dados de qualidade para a telefonia IP.

Como discutido na Seção 3.7, esta dissertação considera que os sistemas de monitoramento para telefonia IP mais adequados são os sistemas não intrusivos e que utilizam métricas objetivas. No Capítulo 3 também foram apresentadas algumas soluções nesta linha, porém apresentaram problema de escalabilidade quando aplicadas em um contexto mais abrangente.

Neste capítulo é apresentado um sistema de monitoramento de qualidade centralizado não intrusivo das chamadas de telefonia IP (Figura 12). O mesmo é baseado no uso dos relatórios RTCP XR (FRIEDMAN et al., 2003) e no protocolo SIP (HANDLEY et al., 1999), através do pacote de eventos SIP vq-rtcpxr (PENDLETON et al., 2010).

Figura 12 – Sistema de Monitoramento de Qualidade em Serviços VoIP



A centralização dos dados de qualidade permite a realização do monitoramento da qualidade, gerando diversos relatórios de qualidade. Alguns dos relatórios que o sistema disponibiliza são: análise geral, análise diária e gerência da matriz de tráfego de voz por rede.

O sistema ainda oferece interfaces SNMP (CASE et al., 1990) e REST (FIELDING e TAYLOR, 2002), permitindo a sistemas externos consumirem dados de qualidade do serviço de telefonia IP monitorado. Estas interfaces padronizadas agregam maior valor ao serviço de monitoramento de telefonia IP proposto.

#### 4.1. VISÃO GERAL DO SISTEMA PROPOSTO

A Figura 12 ilustra um cenário de serviço de telefonia IP, no qual a qualidade das chamadas é monitorada pelo sistema proposto. Este cenário, na realidade, é um sistema mínimo de telefonia IP, incluindo os componentes mínimos para a implantação de tal serviço em uma corporação. Este sistema é composto pelos seguintes componentes:

- **Telefones IP/Softphones:** são os mesmos agentes usuários da telefonia IP, capazes de iniciar e aceitar chamadas telefônicas (como descritos na Seção 2.2). Nesta proposta, para permitir seu monitoramento, os telefones IP/*softphones* devem oferecer suporte a geração de relatórios RTCP XR e terem a capacidade de enviar pacotes de eventos SIP vq-rtcpxr;

- **PBX-IP:** é responsável pelo encaminhamento de chamadas entre os agentes usuários da telefonia IP (como descrito na Seção 2.2). Para facilitar a implementação da solução proposta de monitoramento de qualidade, a PBX-IP deveria oferecer o serviço de provisionamento capaz de configurar a utilização do pacote de eventos SIP *vq-rtcp* nos telefones IP/*softphones*;
- **Gateway PSTN:** faz a interface entre a telefonia IP e a telefonia PSTN (como descrito na Seção 2.2). Para que se possa monitorar a qualidade de chamadas entre a telefonia IP e a telefonia PSTN, o *gateway* também deveria ser capaz de gerar relatórios XR e oferecer suporte ao pacote de eventos SIP *vq-rtcp*;
- **SM-QV:** servidor de monitoramento de qualidade em VoIP. É o componente responsável em centralizar as mensagens do pacote de eventos SIP *vq-rtcp* produzidas pelos demais componentes do serviço de telefonia IP. A partir dos pacotes de eventos SIP *vq-rtcp*, o SM-QV oferece uma série de relatórios de qualidade para os administradores de rede. Além disso, ele atua como um agente SNMP e é visto como um Serviço Web com REST. Estas interfaces padronizadas permitem a exportação de dados de qualidade para agentes externos; e
- **Agentes Externos:** estes são as ferramentas tradicionais de monitoramento de redes IP, tais quais: CACTI (2014), NAGIOS (2014) e ZABBIX (2014); e sistemas administrativos que podem utilizar a interface REST para extrair informações de qualidade do SM-QV.

Como apresentado na Figura 12, a sinalização SIP ocorre entre os telefones IP/*softphones* e PBX-IP para registro e estabelecimento das chamadas VoIP. Essa sinalização ocorre também entre a PBX-IP e o *Gateway* PSTN. Depois de estabelecida a chamada, o fluxo de áudio pode ser encaminhado diretamente entre os telefones IP/*softphones*, ou passando pela PBX-IP e/ou *Gateway* PSTN (no caso de chamadas envolvendo telefones IP e telefones PTSN).

O sistema proposto inclui na estrutura de telefonia IP um Servidor de Monitoramento de Qualidade VoIP (SM-QV) e Agentes Externos. O SM-QV é o novo componente que centraliza as informações de qualidade através dos pacotes de eventos SIP *vq-rtcp*. Os Agentes Externos são ferramentas capazes de fazer consultas SNMP (CASE et al., 1990) e REST (FIELDING e TAYLOR, 2002).

## 4.2. CONFIGURAÇÃO DOS COMPONENTES DA TELEFONIA IP

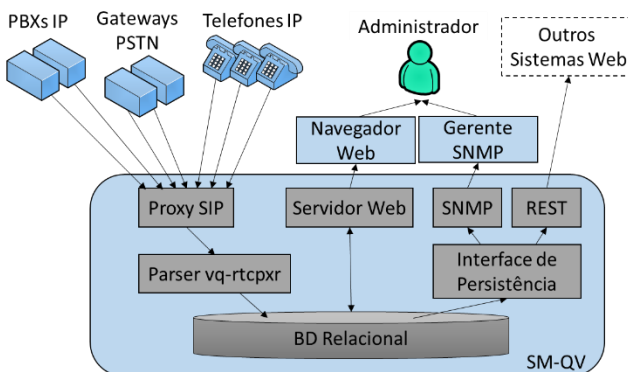
Para que os componentes da telefonia IP operem adequadamente com o sistema de monitoramento de QoS para telefonia IP proposto nesta dissertação, é necessário que os mesmos possuam suporte a geração de pacotes de eventos SIP vq-rtcprr.

Devem-se configurar estes componentes com o endereço do SM-QV. Esta configuração pode ser feita manualmente ou através do sistema de aprovisionamento da PBX-IP, caso a PBX-IP possua suporte para tal, como descrito na Seção 2.2.

## 4.3. SERVIDOR SM-QV

O Servidor de Monitoramento de Qualidade VoIP (SM-QV) é o elemento central do sistema de monitoramento de qualidade proposto nesta dissertação. A Figura 13 apresenta a arquitetura de *software* do SM-QV. Os pacotes SIP vq-rtcprr são recebidos por um serviço de *proxy* SIP, em seguida são encaminhados ao *parser* vq-rtcprr. Esse *parser* analisa os pacotes de evento SIP vq-rtcprr e armazena diversos campos do relatório na base de dados relacional.

Figura 13 – Arquitetura de *Software* SM-QV



Os campos dos relatórios SIP vq-rtcprr registrados no servidor SM-QV são agrupados em oito classes distintas (Tabela 4):

- **Descrição da Chamada:** dados que descrevem a chamada;
- **Identificação dos Pares da Chamada:** dados de rede que descrevem os endereços IP e portas utilizadas na chamada;

- **Buffer de *Dejitter*:** dados incluindo medidas de *jitter* nominal, taxa de buffer de *dejitter*, valor mínimo e máximo absoluto de *jitter*, além da informação se os agentes usuários utilizam ou não algoritmos adaptativos;
- **Perda de Pacotes:** dados referentes à taxa de perda de pacotes na rede e taxa de descarte de pacotes no buffer de apresentação nos agentes usuários;
- **Perda em Rajada:** dado referente a perdas em rajada, contendo informações sobre a densidade e duração da perda, densidade e duração da rajada e limiar mínimo de rajada a se considerar;
- **Atraso:** dados de atraso, incluindo atraso unidirecional e de ida-e-volta de rede, e o atraso medido pelo telefone IP/*softphone*;
- **Eco:** dado referente à perda residual de retorno de eco; e
- **Qualidade:** são as medidas de qualidade computadas pelo telefone IP/*softphone* em termos de fator R (RLQ e RCQ) e MOS (MOS-LQ e MOS-CQ).

Tabela 4 – Lista dos dados disponibilizados pelo SM-QV

Classe	Campo	Descrição
Descrição da Chamada	CallID	Identificação da chamada
	SessionID	Identificação da sessão
	UA	Agente do usuário
	TimeStart	Tempo de começo da chamada
	TimeStop	Tempo de término da chamada
	PT	Tipo de <i>payload</i> identifica CODEC usado
	PPS	Quantia de pacotes por segundo enviados
	SSUP	Uso ou não de supressão de silêncio
	FromID	Identificação do originador
	ToID	Identificação do destinatário
Pares da Chamada	LaIP	Endereço IPv4 Local
	LaPORT	Porta Local
	LaSSRC	SSRC Local
	RaIP	Endereço IPv4 Remota
	RaPORT	Porta Remota
	RaSSRC	SSRC Remota
Buffer de <i>Dejitter</i>	JBA	Buffer Adaptativo de <i>Dejitter</i>
	JBR	Taxa de Buffer de <i>Dejitter</i>
	JBN	Buffer Nominal de <i>Dejitter</i>
	JBm	Valor Máximo Buffer de <i>Dejitter</i>
	JBX	Valor Máximo Absoluto Buffer de <i>Dejitter</i>
Perda de Pacotes	NLR	Taxa de Perda de Pacotes na Rede
	JDR	Taxa de Buffer de <i>Dejitter</i> Descartada
Perda em Rajada	BLD	Densidade da Perda em Rajada
	BD	Duração da Perda em Rajadas
	GLD	Densidade da Lacuna entre Rajadas ( <i>gap</i> )
	GD	Duração da Lacuna entre Rajadas ( <i>gap</i> )
	GMIN	Limiar Mínimo da Lacuna entre Rajadas
Atraso	RTD	Atraso Bidirecional da Rede
	ESD	Atraso Fim-a-Fim entre sistemas finais
	OWD	Atraso Unidirecional
	IAJ	<i>Jitter</i> de chegada dos pacotes
Eco	RERL	Perda residual de retorno de eco
Qualidade da Chamada	RLQ	Fator R da ligação definido no E-Model
	RCQ	Fator R da ligação definido na RFC 3611
	MOS-LQ	MOS da chamada considerando a escuta
	MOS-CQ	MOS da chamada considerando a conversação

### 4.3.1. *Proxy SIP*

O Servidor SM-QV possui um módulo *Proxy SIP*, que é um componente de *software* que implementa a interface de comunicação SIP com os demais componentes da infraestrutura de telefonia IP. Este módulo *Proxy SIP* é utilizado exclusivamente para o monitoramento, sendo responsável por receber mensagens do protocolo SIP. Na recepção das mensagens SIP, este módulo identifica as mensagens SIP PUBLISH contendo o pacote de eventos *vq-rtcp*. Após a identificação das mensagens SIP *vq-rtcp*, o *proxy SIP* encaminha as mensagens ao módulo *Parser vq-rtcp*.

### 4.3.2. *Parser vq-rtcp*

É o componente de *software* responsável em decodificar os parâmetros de qualidade do pacote de eventos SIP *vq-rtcp* (Tabela 4). Ao receber as mensagens SIP *vq-rtcp*, identifica os campos de qualidade (Tabela 4) e os armazena na base relacional.

### 4.3.3. **BD Relacional**

É o componente de *software* que armazena os parâmetros de qualidade (Tabela 4) em uma base relacional. Além dos dados de qualidade das chamadas, este banco de dados armazena os dados das subredes existentes na corporação fazendo uso dos serviços de telefonia IP.

O esquema do banco de dados é apresentada na Figura 14. Neste banco existem as tabelas *qos*, que armazena os parâmetros de qualidade das chamadas (Tabela 4), e *subnets*, que armazena dados sobre as subredes da instituição.

Não há relacionamento explícito no banco de dados entre as tabelas *qos* e *subnets*. O mapeamento entre elas é realizado no processamento dos relatórios através dos campos **laIP** e **raIP** da tabela **qos** (contém o IP de origem e destino, respectivamente) com os campos **subnet** e **mask** da tabela **subnets** (contém o endereço da rede e máscara, respectivamente). Os dados sobre as subredes são utilizados para realizar os relatórios de Qualidade por Rede (vistos mais adiante, na Seção 4.3.4).



Figura 14 – Modelagem banco de dados do SM-QV

qos	
callID	varchar(150) not null (PK)
sessionID	varchar(150) not null (PK)
ua	varchar(250)
timeStart	datetime
timeStop	datetime
sessionPT	int(4)
sessionPPS	int(11)
sessionSSUP	tinyint(1)
toID	varchar(250)
fromID	varchar(250)
laIP	varchar(15)
laPORT	int(11)
laSSRC	int(11)
raIP	varchar(15)
raPORT	int(11)
raSSRC	int(11)
jbJBA	int(3)
jbJBR	int(5)
jbJBN	int(11)
jbJBM	int(11)
jbJBX	int(11)
plNLR	float
plJDR	float
bgBLD	float
bgBD	int(11)
bgGLD	float
bgGD	int(11)
bgGMIN	int(11)
dlRTD	int(11)
dlESD	int(11)
dlOWD	int(11)
dlIAJ	int(11)
sgRERL	int(3)
qeRLQ	int(3)
qeRCQ	int(3)
qeMOSLQ	float
qeMOSCQ	float

subnets	
subnet	varchar(255) not null
mask	varchar(255) not null
description	text not null

#### 4.3.4. Servidor Web

O servidor Web disponibiliza aos administradores do sistema, via qualquer navegador Web, relatórios de qualidade gerados a partir dos dados armazenados no BD Relacional. Os relatórios produzidos pelo Servidor Web podem ser classificados em: Relatórios Descritivos de Qualidade; Relatórios de Qualidade por Usuário/Terminal; e Relatórios de Qualidade por Rede. Todos esses relatórios são baseados nos limites para os parâmetros de rede definidos em (MANCAS e MOCANU, 2013) e na tabela de qualidade subjetiva de voz (MOS) apresentada em (ALAVI e NIKMEHR, 2010) em que valores inferiores a 4,0 não condizem com serviços de telefonia IP satisfatórios.

#### Relatórios Descritivos de Qualidade

Nesta classe de relatórios, o administrador do sistema tem uma visão geral da qualidade oferecida pelo serviço de Telefonia IP. Nessa classe estão os relatórios **Visão Geral** e **Análise Diária**.

O relatório Visão Geral apresenta contabilizações globais do serviço e estatísticas do serviço desde o início do monitoramento em termos de tipos de chamadas e qualidade. A Figura 15 apresenta uma forma de apresentação do relatório Visão Geral. Os dados contidos neste relatório são:

- **Período do Monitoramento:** data de início e fim do monitoramento;
- **Total de Chamadas:** número total de chamadas capturadas pelo sistema;
- **Chamadas Descartadas do Monitoramento:** número de chamadas que tiveram algum problema na captura;
- **Supressão de Silêncio:** número de chamadas que tiveram supressão de silêncio habilitado;
- **RERL:** número de chamadas que possuem alguma perda residual de retorno de eco (RERL - *Residual Echo Return Loss*);
- **Total de Chamadas do Monitoramento:** número de chamadas que foram monitoradas;
- **Duração Total de Chamadas do Monitoramento:** duração total das chamadas analisadas;
- **Chamadas com Um Sentido:** número de chamadas em um sentido (apenas um agente usuário possui suporte ao SIP vq-rtcpxr em uma

chamada, ou seja, apenas este usuário reporta dados de qualidade da chamada);

- **Chamadas com Dois Sentidos:** número de chamadas em dois sentidos (os dois usuários agentes possuem suporte ao SIP vq-rtcpxr em uma chamada, ou seja, ambos reportam dados de qualidade da chamada);
- **CODEC G.711u:** número de chamadas que utilizaram o CODEC G.711u;
- **CODEC G.711a:** número de chamadas que utilizaram o CODEC G.711a;
- **CODEC G.729:** número de chamadas que utilizaram o CODEC G.729;
- **CODEC Outros:** número de chamadas que utilizaram outros CODECs;
- **Chamadas a 33 PPS:** número de chamadas que adotam a taxa de transferência de 33 pps (pacotes por segundo). Ou seja, chamadas que adotam pacotes de voz de 30ms (como visto na Seção 2.3.1);
- **Chamadas a 50 PPS:** número de chamadas que adotam a taxa de transferência de 50 pps (pacotes por segundo). Ou seja, chamadas que adotam pacotes de voz de 20 ms (como visto na Seção 2.3.1);
- **Chamadas com Atrasos OWD superiores a 150 ms:** número de chamadas com atrasos OWD superiores a 150 ms;
- **Chamadas com Jitter superiores a 30 ms:** número de chamadas com *jitter* superior a 30ms;
- **Chamadas sofrendo perdas de rede:** número de chamadas que tiveram pacotes perdidos/descartados na rede;
- **Chamadas com descartes por exceder o buffer de *de jitter*:** número de chamadas com descartes por exceder o buffer de *de jitter*;
- **Chamadas com MOS-LQ menores que 4,0:** número de chamadas com MOS-LQ inferiores a 4,0; e
- **Chamadas com MOS-CQ menores que 4,0:** número de chamadas com MOS-CQ inferiores a 4,0.

Figura 15 – Relatório de Visão Geral

## Visão Geral

## Resumo

## Dados Gerais

Período do Monitoramento: 2013-09-11 a 2014-01-11

Total de Chamadas: 402598 (100.00%)

Chamadas Descartadas do Monitoramento: 332 (0.08%)

Supressão de Silêncio: Não habilitado em todas

RERL: Indefinido

## Chamadas do Monitoramento

## Chamadas

Total de Chamadas do Monitoramento: 402266 (100%)

Duração Total de Chamadas do Monitoramento: 48516343 s (13476:45:43 h)

Chamadas com Um Sentido: 331454 (82.4%)

Chamadas com Dois Sentidos: 70812 (17.6%)

## CODECS

G.711u: Um Sentido 96520 / Dois Sentidos 31699

G.711a: Um Sentido 234902 / Dois Sentidos 39113

G.729: Um Sentido 8 / Dois Sentidos 0

Outros: Um Sentido 24 / Dois Sentidos 0

## Utilização Rede (PPS)

33 PPS: Um Sentido 105523 / Dois Sentidos 126

50 PPS: Um Sentido 225931 / Dois Sentidos 70686

Atrasos unidirecionais superiores a 150ms

Chamadas Um Sentido: 3594 (1.08%)

Chamadas Dois Sentidos: 589 (0.83%)

Jitter superiores a 30ms

Chamadas Um Sentido: 52 (0.02%)

Chamadas Dois Sentidos: 23 (0.03%)

## Perdas de rede

Chamadas Um Sentido: 10140 (3.06%)

Chamadas Dois Sentidos: 2933 (4.14%)

Descartes por exceder o buffer de dejitter

Chamadas Um Sentido: 3155 (0.95%)

Chamadas Dois Sentidos: 941 (1.33%)

MOS-LQ menores que 4.0

Chamadas Um Sentido: 2555 (0.77%)

Chamadas Dois Sentidos: 762 (1.08%)

MOS-CQ menores que 4.0

Chamadas Um Sentido: 3328 (1%)

Chamadas Dois Sentidos: 972 (1.37%)

O propósito deste relatório é oferecer uma visão geral sobre a qualidade do serviço de telefonia IP em um período de análise selecionado. O Administrador pode selecionar o intervalo de interesse. Note que o propósito deste relatório não é oferecer suporte ao administrador para identificar local com incidência de problemas de qualidade, tampouco as fontes destes problemas. Estas informações são possíveis nos demais relatórios.

O relatório Análise Diária detalha dados de qualidade sob a perspectiva de dias, com análise sobre o período de tempo indicado pelo administrador. Os dados reportados neste relatório são semelhantes ao relatório Visão Geral, sendo que neste caso o administrador por escolher quais dados expor na tabela do relatório. A Figura 16 ilustra uma implementação do relatório de Análise Diária, onde são apresentados dados de total de chamadas, número de chamadas com OWD superiores a 150 ms, número de chamadas com perdas e número de chamadas com descartes, tanto para chamadas em um sentido como para chamadas em dois sentidos.

Figura 16 – Relatório de Análise Diária

Análise Diária									
Data	Dia da Semana	N. Chamadas (1)	N. OWD > 150 ms (1)	N. Perda (1)	N. Descarte (1)	N. Chamadas (2)	N. OWD > 150 ms (2)	N. Perda (2)	N. Descarte (2)
2013-12-18	Quarta	3940	42	78	37	895	4	34	18
2013-12-19	Quinta	3849	36	117	30	816	3	26	7
2013-12-20	Sexta	3024	18	74	22	584	1	11	0
2013-12-21	Sábado	161	1	7	1	36	0	1	1
2013-12-22	Domingo	137	1	4	0	30	0	1	1

Este relatório permite a identificação rápida da utilização dos serviços de telefonia IP a cada dia, possibilitando verificar datas com sobrecarga e observar estatísticas de qualidade das chamadas realizadas em cada dia. Este relatório permite ao administrador visualizar tendências ao passar do tempo, permitindo verificar problemas permanentes e/ou transientes e saber os períodos que ocorrem os problemas. A exemplo do relatório anterior, este relatório se restringe em realizar análise baseado em períodos, a localização efetiva do problema não é mostrada neste relatório. Para tal, se utiliza o relatório de Matriz de Tráfego de Voz, apresentado nas seções subsequentes.

## Relatórios de Qualidade por Agente Usuário

São relatórios que qualificam a qualidade que o sistema oferece a um dado usuário/telefone IP ou grupo. Nessa classe estão os relatórios: **Análise por Agente Usuário** e **Tendência da Qualidade por Agente Usuário**.

O relatório Análise por Agente Usuário apresenta estatísticas qualitativas referentes a um dado usuário em dado período que o administrador seleciona. Os dados reportados neste relatório são semelhantes ao relatório Visão Geral, sendo que neste caso o administrador pode escolher quais dados expor na tabela do relatório. A Figura 17 ilustra uma implementação do relatório de Análise por Agente Usuário, onde são apresentados dados com o número de chamadas com perdas de determinado agente no período entre 10/11/2013 a 12/11/2013. Com este relatório é possível verificar o nível da qualidade entregue para determinado usuário em determinado período.

Figura 17 – Relatório de Análise por Agente Usuário

**Análise por Agente Usuário****Dados Gerais**

Agente Usuário: 3040

Período do Monitoramento: 2013-11-10 a 2013-11-12

**Chamadas Um Sentido**

Total de Chamadas: 13

Duração Total de Chamadas: 2300 (00:38:20 h)

Perdas de Rede: 1 (7.69%)

**Chamadas Dois Sentidos**

Total de Chamadas: 2

Duração Total de Chamadas: 240 (00:04:00 h)

Perdas de Rede: 0 (0.00%)

O relatório Tendência da Qualidade por Agente Usuário (como por exemplo na Figura 18 que apresenta a relação entre número de ligações, duração (min) e número de ligações com perdas entre 10/11/2013 a 12/11/2013) apresenta dados históricos de qualidade de determinado agente usuário, apresentando gráficos por período de tempo de número de ligações, duração, MOS, perdas, atraso unidirecional e/ou variação de atraso. Os parâmetros que serão mostrados no gráfico são selecionados pelo administrador. Este tipo de relatório ilustra graficamente a qualidade de determinado usuário em um período de tempo selecionado. O relatório auxilia os administradores do serviço em estimar a qualidade mínima para atender determinado agente usuário, além de auxiliar no planejamento de expansão do serviço de telefonia IP.

Em ambos os relatórios, o administrador do sistema pode aplicar filtros por seleção de usuário origem e/ou destino, grupo de usuários origem e/ou destino, seleção da faixa de data de início e data de término do monitoramento, dias e/ou horas úteis e parâmetros a serem apresentados.

Figura 18 – Relatório de Tendência da Qualidade por Agente Usuário

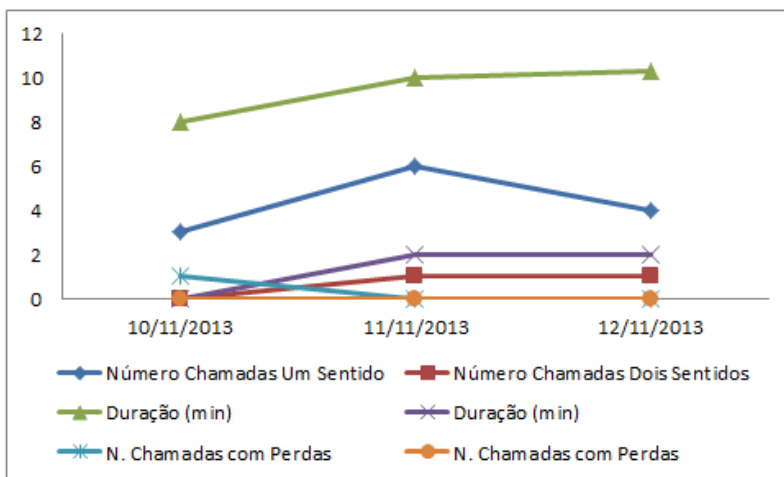
#### Tendência da Qualidade por Agente Usuário

##### Dados Gerais

Agente Usuário: 3040

Período do Monitoramento: 2013-11-10 a 2013-11-12

Gráfico de Número de Chamadas X Duração (min) X Número Chamadas com Perdas



## Relatórios de Qualidade por Rede

São relatórios que examinam a qualidade oferecida pelas redes aos usuários conectados a elas. Nesses relatórios tem-se a qualidade oferecida em cada rede, permitindo que o administrador realize a comparação de rede para rede para avaliar o tráfego de voz entre as redes. Nessa classe estão os relatórios: **Perdas nas Redes de Telefonia IP** e **Matriz de Tráfego de Voz**.

O relatório de Perdas nas Redes de Telefonia IP (como exemplificado na Figura 19) apresenta uma matriz de subrede vs subrede, sendo que as células mostram as perdas máximas em cada interseção em dado período selecionado. O destaque neste relatório são as perdas nas subredes, sendo que a célula nesta tabela apresenta o número de chamadas com perdas (considerando todas as chamadas com se fossem em um sentido apenas) entre as subredes (linha origem e coluna destino) e o percentual representativo destas chamadas em relação ao total das chamadas. Este relatório tem por intuito dar

destaque aos problemas das redes IP que suportam o serviço de telefonia IP, não focando nos problemas dos componentes da telefonia IP.

Figura 19 – Relatório de Perdas nas Redes de Telefonia IP

	Subrede A	Subrede B	Subrede C	Subrede D
Subrede A	10 (10%)	1 (0,5%)	-	0 (0%)
Subrede B	0 (0%)	0 (0%)	1 (0,3%)	0 (0%)
Subrede C	-	10 (1%)	5 (1%)	0 (0%)
Subrede D	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	-

O relatório de Matriz de Tráfego de Voz (Figura 20) apresenta uma matriz de subrede vs subrede, sendo que as células mostram a qualidade do serviço de telefonia IP nesta interseção sob a perspectiva da qualidade. Esta matriz tem o intuito localizar tráfego de interesse entre as diferentes subredes, localizar fontes de problemas e apresentar uma análise qualitativa do tráfego de subrede para subrede.

Os parâmetros de qualidade considerados para formar esta matriz são o número de chamadas com MOS-LQ inferiores a 4,0, número de chamadas com MOS-CQ inferiores a 4,0, número de chamadas com perdas na rede, número de chamadas com descartes no buffer de *de jitter*, número de chamadas com OWD superior a 150 ms e número de chamadas com *jitter* superior a 30 ms.

Cada célula deste relatório permite ao administrador acessar dados de qualidade medidos pelos componentes da telefonia IP com suporte ao pacote de eventos SIP vq-rtcpnr das chamadas realizadas entre as duas redes (linha e coluna da célula). Neste relatório todas as chamadas são analisadas como se fossem de um sentido apenas, não distinguindo das chamadas que possuem os dois fluxos de voz para realizar a análise.

Neste relatório, a semântica da qualidade é traduzida em uma escala de cores (por exemplo: **cinza** para representar ausência de tráfego de interesse, **verde** para redes com qualidade excelente, **amarelo** para redes com qualidade boa e **vermelho** para redes com qualidade ruim). Esta escala e semântica das cores é variável, dependendo da implementação adotada e da necessidade de cada instituição. O intuito desta escala de cores é permitir a rápida identificação de problemas e assim realizar a priorização na fila de atendimento para resolução do problema entre as redes e também permitir verificar em quais locais o serviço é atendido com excelência.



O relatório Matriz de Tráfego de Voz expande a utilização do pacote de eventos SIP vq-rtcpvr, agregando informações sobre segmentos de rede, permitindo não somente mensurar a qualidade do serviço de telefonia IP sob o aspecto da aplicação VoIP, mas sobre a qualidade da própria rede.

Figura 20 – Relatório de Matriz de Tráfego de Voz

	Subrede A	Subrede B	Subrede C	Subrede D
Subrede A				
Subrede B				
Subrede C				
Subrede D				

#### 4.3.5. Interface de Persistência

A Interface de Persistência é o componente de *software* do servidor SM-QV responsável em padronizar a comunicação entre o Agente SNMP e API REST com o BD Relacional. Este componente é um *script* que se comunica com o banco relacional e fornece dos dados tanto para o Agente SNMP quanto para a API REST. A implementação deste componente é necessária, pois torna flexível a utilização de diferentes tipos de sistemas de armazenamento e torna extensível a comunicação com diferentes componentes de *software*, além dos já utilizados.

#### 4.3.6. Agente SNMP

Na área de monitoramento de redes existem diversos sistemas consolidados de gerenciamento de redes, podendo-se citar o CACTI (2014), NAGIOS (2014) e ZABBIX (2014). Tais ferramentas são bastante utilizadas pelos administradores de rede, sendo que manter compatibilidade com os mesmos é de fundamental importância. Todos esses sistemas já possuem gerentes SNMP implementados para poderem realizar consultas SNMP em agentes externos. Neste viés de compatibilidade, o servidor SM-QV possui um módulo agente SNMP, oferecendo os dados coletados a qualquer gerente SNMP.

O agente SNMP, através da Interface de Persistência, acessa os dados de qualidade armazenados na base relacional e os disponibiliza

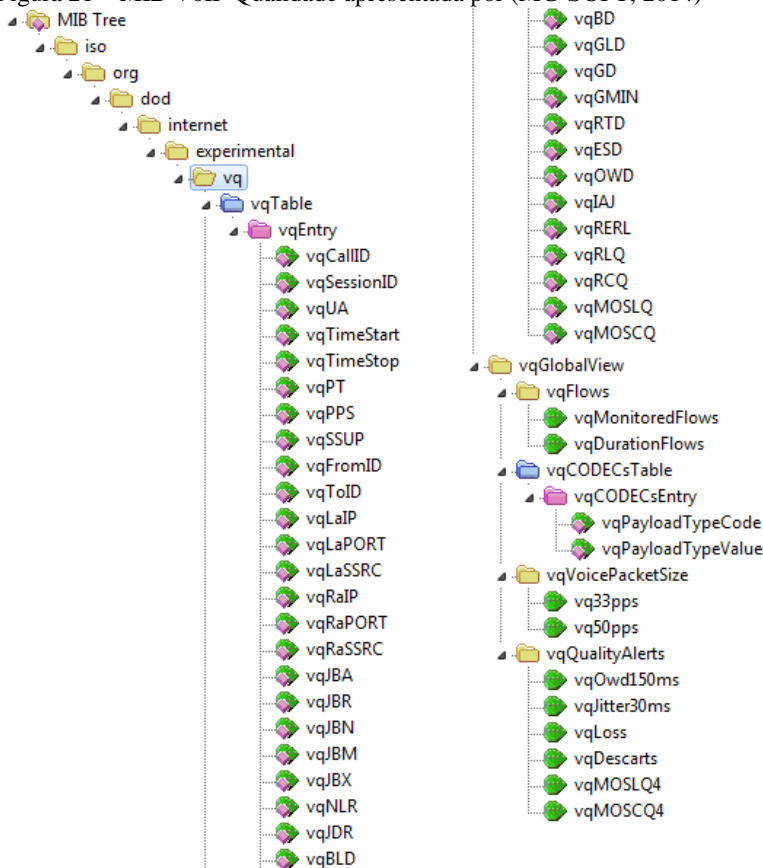
via protocolo SNMP a qualquer gerente SNMP. Nesta dissertação, é proposta uma MIB Experimental para VoIP, apresentada na Figura 21. Embora existam outras implementações de MIBs para VoIP, como é o caso de De Lima et al. (2005) que propuseram uma MIB Experimental e a implementação feita pela Cisco para monitoração VoIP, nenhuma contemplava todos os dados fornecidos pelo SIP *vq-rtcp*. Por isto a necessidade de se definir uma nova MIB para monitoração VoIP.

Nessa MIB, *vqTable* define o conjunto de chamadas existentes para serem disponibilizadas e *vqEntry* é de fato a descrição de cada chamada com seus respectivos atributos. Os objetos gerenciáveis do ramo *vqEntry* são os mesmos campos de qualidade apresentados na Tabela 4, definidos na Seção 4.3.

A *vqGlobalView* define um ramo em que os dados são sumarizados e permite fácil integração com ferramentas de monitoração de redes como CACTI (2014), NAGIOS (2014) e ZABBIX (2014) para a geração de gráficos históricos. Neste ramo foram classificadas as seguintes sub-árvores:

- ***vqFlows***: inclui o número de fluxos monitorados (*vqMonitoresFlows*) e a duração em segundos dos fluxos monitorados (*vqDurationFlows*);
- ***vqCODECsTable***: é uma nova tabela de elementos *vqCODECsEntry*. Esta tabela descreve os CODECs utilizados pela Telefonia IP, incluindo os seguintes objetos gerenciáveis: (i) *vqPayloadTypeCode*, identifica o CODEC utilizando o valor do PT (*Payload Type*) definido na RFC 3551 (SCHULZINNE e CARNER, 2003); e (ii) *vqPayloadTypeValue* é um contador do número de chamadas que utilizaram o CODEC definido pelo atributo *vqPayloadTypeCode*;
- ***vqVoicePacketSize***: inclui o número de fluxos que utilizam taxas de 33 pps ou 50 pps; e
- ***vqQualityAlerts***: inclui o número de fluxos que contenham atraso unidirecional com mais de 150 ms (*vqOwd150ms*), *jitter* superior a 30ms (*vqJitter30ms*), perdas de pacotes (*vqLoss*), descartes por buffer de *dejitter* (*vqDescarts*), MOS-LQ inferiores a 4 (*vqMOSLQ4*) e MOS-CQ inferiores a 4 (*vqMOSLQ4*).

Figura 21 – MIB VoIP Qualidade apresentada por (MG-SOFT, 2014)



#### 4.3.7. API REST

Existem muitos sistemas externos que não são de gerenciamento de redes, e portanto não oferecem suporte ao protocolo SNMP. Apesar de não serem sistemas de gerenciamento de redes, o acesso a informações sobre as chamadas de telefonia IP por parte destes sistemas pode ser de valia para algumas de suas funcionalidades. Por isso, nesta dissertação considerou-se a tecnologia REST para permitir ao SM-QV compartilhar esses dados de monitoramento da qualidade da telefonia IP. Esses dados podem ser consumidos e trabalhados conforme

necessidade específica de cada sistema. O acesso aos dados de qualidade de telefonia IP é realizado através da utilização do método HTTP GET e o caminho de acesso é através da URL (*Uniform Resource Locator*) definido por <http://SMQV/smqv/AAAA-MM-DD-AAAA-MM-DD>. O parâmetro **SMQV** corresponde ao nome (registrado no DNS) ou endereço IP do Servidor de Monitoramento de Qualidade VoIP e os campos **AAAA-MM-DD** correspondem ao Ano (4 dígitos), Mês (2 dígitos) e Dia (2 dígitos) do período de início e fim, respectivamente.

A Figura 22 apresenta a interface REST (FIELDING e TAYLOR 2002), seguindo padrão JSON (BRAY, 2014), adotada pelo SM-QV. Na interface REST proposta é definido o acrônimo *vq* (*voip quality*) como sendo raiz, seguido de uma descrição do objeto Call, seguido com uma identificação única para a chamada **UNIQUE\_ID**. Abaixo desta identificação, classificam-se os campos conforme classes propostas na Tabela 4 (definidos na Seção 4.3) seguindo com o nome do campo e seu respectivo valor. Os campos definidos nesta interface são os mesmos campos de qualidade apresentados na Tabela 4 da Seção 4.3.

Figura 22 – Dados em formato JSON fornecidos pelo SM-QV

```

{"vq":
  {"Call":
    {"UNIQUE_ID ":
      {"CallDescription":
        {"CallID": "CallID Value",
          "SessionID": "SessionID Value",
          "UA": "UA Value",
          "TimeStart": "TimeStart Value",
          "TimeStop": "TimeStop Value",
          "PT": "PT Value",
          "PPS": "PPS Value",
          "SSUP": "SSUP Value",
          "FromID": "From ID Value",
          "ToID": "To ID Value"},
        "CallPeer":
          {"LaIP": "LaIP Value",
            "LaPORT": "LaPORT Value",
            "LaSSRC": "LaSSRC Value",
            "RaIP": "RaIP Value",
            "RaPORT": "RaPORT Value",
            "RaSSRC": "RaSSRC Value"},
        "JitterBuffer":
          {"JBA": "JBA Value",
            "JBR": "JBR Value",
            "JBN": "JBN Value",
            "JBM": "JBM Value",
            "JBX": "JBX Value"},
        "PacketLoss":
          {"NLR": "NLR Value",
            "JDR": "JDR Value"},
        "BurstLoss":
          {"BLD": "BLD Value",
            "BD": "BD Value",
            "GLD": "GLD Value",
            "GD": "GD Value",
            "GMIN": "GMIN Value"},
        "Delay":
          {"RTD": "RTD Value",
            "ESD": "ESD Value",
            "OWD": "OWD Value",
            "IAJ": "IAJ Value"},
        "Echo":
          {"RERL": "RERL Value"},
        "Quality":
          {"RLQ": "RLQ Value",
            "RCQ": "RCQ Value",
            "MOSLQ": "MOSLQ Value",
            "MOSCQ": "MOSCQ Value"}
      }
    }
  }
}

```

#### 4.4. AGENTES EXTERNOS

Os administradores do sistema podem fazer uso das informações geradas pelo sistema SM-QV via um navegador Web. Adicionalmente,

os dados das chamadas armazenados pelo SM-QV são expostos a uma série de agentes externos via a Interface de Persistência. Essa interface disponibiliza os dados a qualquer gerente SNMP através do agente SNMP ou através de chamadas de serviço Web pela API REST.

A utilização de SNMP ou REST para coletar os dados é dependente do sistema utilizado para realizar a coleta. Para sistemas de monitoramento de rede IP, certamente a interface SNMP se torna mais interessante visto que esses sistemas já possuem gerentes SNMP para realizar a coleta. Por sua vez, a interface REST flexibiliza a utilização dessas informações em sistemas administrativos, os quais geralmente não possuem gerentes SNMP instalados e o manuseio dos dados via interface REST é mais facilitado.

#### 4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado o sistema de monitoramento de QoS para a telefonia IP. A arquitetura de *software* do servidor de QoS foi detalhada, assim como a interoperabilidade do servidor SM-QV com o ambiente de telefonia IP. Também foram apresentados os requisitos mínimos que o serviço de telefonia IP deve possuir para poder implementar o sistema de monitoramento de QoS para a telefonia IP.

A Tabela 4 apresenta um comparativo entre a presente proposta e os trabalhos relacionados nesta dissertação. Quanto às métricas, a exemplo da presente proposta, a maioria das propostas analisadas suporta tanto parâmetros de desempenho de redes quanto parâmetros objetivos de qualidade. Em relação a escalabilidade, o sistema proposto é escalável, como algumas das propostas analisadas. O principal diferencial da proposta é quanto às interfaces disponibilizadas e o baixo impacto na implantação. O sistema proposto apresenta uma forma estruturada para acessar os dados, disponibilizando as informações de qualidade em diferentes formatos, sendo aderente à utilização com sistemas de monitoramento existentes através do gerente SNMP e API REST implementados. Os relatórios implementados facilitam a análise dos dados de qualidade do serviço de telefonia IP, dando uma perspectiva da qualidade do serviço, além da qualidade da rede IP que o suporta. Finalmente, o impacto na implantação é baixo, exigindo apenas a configuração de equipamentos existentes e a instalação de um servidor de qualidade.

Tabela 5 – Tabela comparativa das características das propostas relacionadas e da proposta desta dissertação

<b>Proposta</b>	<b>Parâmetros de Desempenho / Qualidade</b>	<b>Escalabilidade</b>	<b>Interfaces de comunicação externas</b>	<b>Impacto na Implantação</b>
Birke et al. (2010)	Possui, tanto de desempenho quanto de qualidade	Baixa, devido a captura de tráfego e servidor em cada PoP	Não possui	Baixa, instalação de Servidores de QoS em cada PoP
Kim et al. (2006)	Possui, tanto de desempenho quanto de qualidade	Alta, dado que o processamento das informações de qualidade é feito nos agentes usuários	Não possui	Alta, integração de agentes específicos nos agentes usuários
De Lima et al. (2005)	Possui métricas de desempenho	Alta, dado que o processamento das informações de qualidade é feito nos agentes usuários	Interface SNMP	Alta, dado que deve-se implantar o módulo proposto em mais agentes usuários
Cardeal et al. (2011).	Possui, tanto de desempenho quanto de qualidade	Baixa, dado que deve-se espalhar diversos agentes passivos / ativos para realizar a coleta de parâmetros	Não possui	Médio, deve-se instalar agentes passivos / ativos nos locais onde se deseja monitorar
SMQV	Possui, tanto de desempenho quanto de qualidade	Alta, dado que o processamento das informações de qualidade é feito nos agentes usuários	Interface SNMP e REST	Baixo, dado que os agentes usuários possuem compatibilidade com o protocolo RTCP XR e a necessidade de instalação de um SMQV

No próximo capítulo será apresentado um estudo de caso implementado na Universidade Federal de Santa Catarina, mostrando a importância da implementação do sistema de monitoramento apresentado.

## 5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo serão descritos a implementação do sistema de monitoramento de qualidade em serviços de telefonia IP apresentado no Capítulo 4 e o seu uso no ambiente de produção de telefonia IP da Universidade Federal da Santa Catarina (UFSC).

Inicialmente, este capítulo apresenta o ambiente de telefonia IP da UFSC. Em seguida, será descrito como o sistema de monitoramento de QoS para telefonia IP foi implementado. E por fim, serão apresentados os resultados e a análise da qualidade provida pelo serviço de telefonia IP da UFSC durante o período monitorado.

### 5.1. AMBIENTE DE TELEFONIA IP DA UFSC

A UFSC é uma universidade multicampi, sendo um campus principal na cidade Florianópolis (C1), dois campi remotos nas cidades de Joinville (C2) e Araranguá (C3), e mais dois campi na própria cidade de Florianópolis (C1) – LCM (C1A) e REMAS (C1B).

O serviço de telefonia IP da UFSC, apresentado na Figura 23, atende a todos os campi da UFSC. Como visto nesta figura, o sistema de Telefonia IP da UFSC está integrado ao serviço de telefonia IP da RNP fone@RNP (2014) e também possui *gateways* para interoperabilidade com o serviço de telefonia comutada (Operadora PSTN) em todos os campi. Destaca-se que este serviço atende a mais de 3000 usuários e os mesmos foram utilizados no experimento desta dissertação.

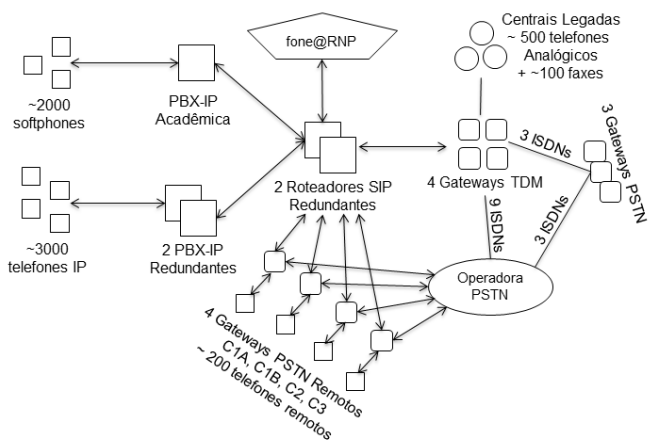
O principais componentes do serviço de Telefonia IP da UFSC são:

- **Telefones IPs/*Softphones*/Fax:** são pouco mais de 3000 telefones IP registrados nas PBX-IPs corporativas (sendo que 200 telefones IPs estão alocados em unidades remotas), 2000 *softphones* registrados na PBX-IP acadêmica, 500 ramais analógicos e 100 equipamentos de fax;
- **Componentes de infraestrutura:** a infraestrutura do serviço de telefonia IP da UFSC é composta por duas PBX-IP corporativas que operam de forma redundante, uma PBX-IP acadêmica, dois roteadores SIP que operam de forma redundante, 11 *gateways* PSTN (sendo que 4 operam em unidades remotas), e algumas centrais analógicas; e
- **Troncos:** o sistema possui 9 conexões diretas com 30 canais ISDN por conexão configurados com a operadora, 4 troncos IP remotos



com canais ISDN conectados na operadora PSTN configurados no ambiente da unidade remota, 1 tronco de conexão IP com o ambiente fone@RNP e 3 conexões diretas passando através de Gateways Transparentes (desviam chamadas locais PSTN para o fone@RNP caso existam rotas cadastradas no fone@RNP).

Figura 23 – Arquitetura do serviço de telefonia IP da UFSC



A Tabela 6 lista os possíveis tipos de chamadas que podem existir no ambiente de telefonia IP da UFSC. Nesta tabela, são detalhados os componentes envolvidos nas pontas das chamadas. A forma de encaminhamento das chamadas não é relevante para o contexto desta dissertação.

Tabela 6 – Tipos de chamadas no serviço de telefonia IP da UFSC

Tipo chamada	Ponta A	Ponta B
Interna 1 (*)	Telefone IP Corporativo	Telefone IP Corporativo
Interna 2	Softphone	Softphone
Interna 3	Telefone Analógico	Telefone Analógico
Interna 4 (*)	Telefone IP Corporativo	Softphone
Interna 5 (*)	Telefone IP Corporativo	Telefone Analógico
Interna 6	Softphone	Telefone Analógico
Operadora 1 (*)	Telefone IP Corporativo	Telefone Operadora PSTN
Operadora 2	Telefone Analógico	Telefone Operadora PSTN
Operadora 3	Softphone	Telefone Operadora PSTN
Fone@RNP 1 (*)	Telefone IP Corporativo	Serviço fone@RNP
Fone@RNP 2	Telefone Analógico	Serviço fone@RNP
Fone@RNP 3	Softphone	Serviço fone@RNP

(\*) Chamadas que tiveram a qualidade monitorada

Devido ao grande número de componentes, o sistema de telefonia da UFSC é complexo para ser gerenciado. Não é viável o monitoramento da qualidade do serviço via simples notificação de problemas por parte dos seus usuários. Este tipo de operação não permite identificar problemas antes que os seus próprios usuários percebam o problema. Além disso, este modo de operação, via relato de usuários, não permite identificar rapidamente a fonte efetiva dos problemas. Portanto, é importante que a equipe de TI da universidade seja apoiada por ferramentas de monitoramento do serviço de telefonia IP, em particular em termos da qualidade oferecida aos seus usuários.

Neste contexto, o protótipo do sistema de monitoramento desenvolvido foi implantado no ambiente de produção de telefonia IP da UFSC. Tendo como restrição que apenas os telefones IPs registrados nas PBX-IPs Corporativas suportam o pacote de eventos SIP *vq-rtcp*, o sistema de monitoração implantado consistiu na monitoração das chamadas em que pelo menos uma das pontas fosse um telefone IP registrado nas PBX-IPs Corporativas. Mais especificamente, neste estudo de caso pôde-se aferir a qualidade dos seguintes tipos de chamadas (Tabela 6): Interna 1, Interna 4, Interna 5, Operadora 1 e Fone@RNP 1. As demais chamadas realizadas entre equipamentos sem suporte ao pacote de eventos SIP *vq-rtcp* não tiveram a qualidade monitorada. Também não foram monitoradas chamadas entre *softphones*, pois não foram encontrados *softphones* que tenham suporte ao pacote de eventos SIP *vq-rtcp*. A monitoração se limitou a monitorar apenas a telefonia IP da UFSC, embora possam existir implementações de telefonia IP em outras instituições com telefones IP com suporte a pacote de eventos SIP *vq-rtcp*.

De toda maneira, o número de telefones IP que tiveram a qualidade das chamadas monitorada é representativo, o que permite monitorar problemas de qualidade em telefones IP conectados a grande parte das subredes da UFSC, além de permitir verificar problemas reais entre as subredes da UFSC através da utilização do relatório de Matriz de Tráfego de Voz (4.3.4). Foram realizadas as coletas dos pacotes de eventos SIP *vq-rtcp* durante 4 meses, de 11 de setembro de 2013 a 11 de janeiro de 2014.

O serviço de provisionamento da PBX-IP da UFSC foi estendido para configurar o endereço do servidor SM-QV como servidor de qualidade dos telefones IP e foi definido que os telefones IP devem somente enviar os pacotes SIP *vq-rtcp* ao final da chamada. Os telefones IP, ao reiniciarem buscavam as configurações no servidor de

aprovisionamento, juntamente com as informações referentes ao SIP vq-rtcpvxr e começavam a enviar os pacotes SIP vq-rtcpvxr para o SM-QV conforme fossem sendo realizadas chamadas.

## 5.2. PROTÓTIPO DO SM-QV DESENVOLVIDO

Para fins de avaliação da presente proposta, foi implementado um protótipo do sistema de monitoramento de qualidade apresentado no Capítulo 4. Um protótipo do tipo prova de conceito do servidor SM-QV foi desenvolvido em um computador com o sistema operacional GNU/Linux Debian (2014).

Seguindo a proposta de arquitetura de *software* descrita na Seção 4.3, o *proxy* SIP foi implementado utilizando o *software* OpenSIPs (2014). Nesse protótipo, o OpenSIPs foi programado para processar somente as mensagens dos pacotes SIP vq-rtcpvxr, invocando o *Parser* vq-rtcpvxr ao receber um pacote SIP vq-rtcpvxr. O *Parser* vq-rtcpvxr é um componente externo desenvolvido para realizar a análise dos pacotes de evento SIP vq-rtcpvxr e a inserção dos dados em base de dados relacional MySQL (2014).

### 5.2.1. Relatórios Implementados

Assim como mencionado na Seção 4.3.4, os relatórios oferecidos pelo protótipo são baseados nas classes de relatórios definidas nesta seção, nos limites para os parâmetros de rede definidos em (MANCAS e MOCANU, 2013) e na tabela de qualidade subjetiva de voz (MOS) apresentada em (ALAVI e NIKMEHR, 2010). Abaixo são descritos cada relatório:

- **Visão Geral:** apresenta uma visão geral do serviço de telefonia IP, contendo informações referentes ao número total de chamadas analisadas, tempo total das chamadas, CODECs utilizados, taxa de utilização de rede (PPS), número de chamadas com atraso unidirecional superiores a 150 ms, número de chamadas com *jitter* superior a 30 ms, número de chamadas com perdas na rede, número de chamadas com descartes por exceder o buffer de *dejitter* e o número de chamadas com MOS inferior a 4,0. Estes valores limites são apontados na literatura, mas podem ser alterados via configuração do servidor;
- **Análise Diária:** apresenta uma análise por dia, contendo informações referentes ao número de chamadas realizadas, tempo das chamadas no dia, número de chamadas com OWD superior a

150 ms no dia, número de chamadas com perdas na rede e número de chamadas com descartes por exceder o buffer de *de jitter*; e

- **Matriz Tráfego de Voz:** apresenta uma matriz por rede, segregando os diversos telefones IPs nas devidas redes que cada um pertence. Para criar este relatório é necessário cadastrar os segmentos de rede em uma base auxiliar. Como resultado deste relatório tem-se uma análise qualitativa da rede através da monitoração realizada utilizando o SIP vq-rtcpvr. Com esta matriz consegue-se saber aonde existe o tráfego de interesse entre as diferentes redes, além de apresentar uma análise qualitativa do tráfego de rede para rede. Este relatório permite obter uma visão mais holística da situação do serviço de telefonia IP implantado, principalmente para instituições multicampi.

Com base nos relatórios pode-se ter uma análise em um sentido e dois sentidos. Somente as chamadas do tipo Interna 1 (Tabela 6) são chamadas com análise nos dois sentidos, pois cada ponta da chamada possui um telefone IP que implementa o pacote de eventos SIP vq-rtcpvr. Os demais tipos de chamadas podem ser analisados em um sentido (somente o tráfego de entrada no telefone IP, ou seja, o áudio que é escutado no telefone IP).

### 5.2.2. Integração com Sistemas Externos

A Interface de Persistência, Agente SNMP e API REST foram desenvolvidos utilizando uma combinação de *scripts* em BASH (2014), PERL (2014) e PHP (2014). Para o agente SNMP, utilizou-se o NET-SNMP (2014), integrando um *script* ao mesmo para realizar a coleta dos dados da árvore MIB experimental (apresentada na Seção 4.3.6) configurada no agente SNMP através da configuração “pass\_persist”, que permite estender uma sub árvore em baixo de uma OID específica. Estas interfaces fornecem dados de fluxos unidirecionais das ligações.

Para validar a integração do SM-QV com ferramentas externas, neste estudo de caso, o mesmo foi integrado com a ferramenta CACTI (2014). CACTI é uma ferramenta consolidada na área de gerenciamento de redes, que possui um gerente SNMP que coleta as informações dos agentes SNMP e gera gráficos com os dados coletados. Com isso, permite-se realizar análise histórica sobre os dados coletados.

O CACTI armazena os dados em base de dados RRDTOOL (2014), a qual é uma base de dados Round-Robin para o armazenamento de séries de dados. O CACTI é baseado em modelos (*Templates*) para

especificar os dados gerenciados pela ferramenta. Dentre os *Templates* existentes, podem-se citar:

- **DATA TEMPLATE:** especifica a origem dos dados que são manipulados pelo CACTI. Existem diferentes tipos de DATA TEMPLATES, sendo que para esta dissertação o tipo GET\_SNMP\_DATA foi escolhido, pois com o mesmo é possível definir um OID SNMP específico para ser coletado e utilizado nos gráficos desta dissertação; e
- **GRAPH TEMPLATE:** especifica os dados que devem ser utilizados para desenhar os gráficos. Além da escolha do dados a serem utilizados nos gráficos, é possível manipular esses dados e representá-los de diferentes formas, mostrando a média, máximo e mínimo, por exemplo.

No contexto desta dissertação, foram definidos novos *Templates* para contemplar os dados do SIP vq-rtcprr. O CACTI disponibiliza em sua interface uma seção para gerenciar os *Templates* existentes ou adicionar novos, como foi o caso desta dissertação. Abaixo são listados os 12 novos DATA TEMPLATES do tipo GET SNMP DATA que foram definidos nesta dissertação, baseados nos limites de parâmetros de rede e QoS definidos na Seção 5.2.1:

- Número de fluxos com OWD superior a 150 ms;
- Número de fluxos com descarte por exceder o buffer de *de jitter*;
- Número de fluxos com MOS-LQ inferiores a 4,0;
- Número de fluxos com MOS-CQ inferiores a 4,0;
- Número de fluxos com perda de pacotes;
- Número de fluxos com *jitter* superior a 30ms;
- Número de fluxos que utilizaram o CODEC G.711A;
- Número de fluxos que utilizaram o CODEC G.711U;
- Número de fluxos que utilizaram o CODEC G.729;
- Número de fluxos que utilizaram outros CODECs;
- Número de fluxos com taxa de transmissão de 33 pps (pacotes de voz de 30 ms); e
- Número de fluxos com taxa de transmissão de 50 pps (pacotes de voz de 20 ms).

A título de exemplo, a Figura 24 demonstra a configuração do DATA TEMPLATE que define o OID SNMP para os fluxos com taxa de transmissão de 33 pps.

Figura 24 – Configuração do DATA TEMPLATE de fluxos com taxa de transmissão de 33 pps

**Data Templates [edit: SNMP - VQOS REDE 33 PPS]**

**Name**  
The name given to this data template.

---

**Data Source**

**Name**  
☒ Use Per-Data Source Value (Ignore this Value)

**Data Input Method**  
*This field is always templated.*

**Associated RRA's**  
*This field is always templated.*

---

**Data Source Type**  
☐ Use Per-Data Source Value (Ignore this Value)

**Heartbeat**  
☐ Use Per-Data Source Value (Ignore this Value)

---

**Custom Data [data input: Get SNMP Data]**

**OID**  
☐ Use Per-Data Source Value (Ignore this Value)

**SNMP Authentication Protocol (v3)**  
☐  *Value will be derived from the host if this field is left*

Após a definição dos DATA TEMPLATES mencionados acima, foram criados 3 novos GRAPH TEMPLATES, como seguem abaixo:

- **VoIP QoS REDE:** trata-se do gráfico em parciais de 5 minutos dos dados referente ao número de fluxos de voz com taxa de transmissão na rede IP de 33 pps e 50 pps (Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28). O eixo Y do gráfico representa o número de chamadas em um sentido que utilizam determinada taxa de transmissão. Foram utilizados 2 DATA TEMPLATES criados acima, correspondentes a taxa de transmissão de 33 pps e 50 pps;
- **VoIP QoS CODEC:** apresenta o número de chamadas em um sentido (eixo Y) em parciais de 5 minutos que utilizam determinado CODEC. Para efeitos de demonstração, nesta dissertação foram mapeados os seguintes CODECs: G.711u, G.711a e G.729. Demais CODECs, foram mapeados para o indicador “outros”, determinando ao todo 4 indicadores para este gráfico. A Figura 29, Figura 30, Figura 31 e
- Figura 32 demonstram a implementação deste tipo de gráfico. Foram utilizados 4 DATA TEMPLATES criados acima, referentes aos tipos de CODECs utilizados; e

- **VoIP QoS ALERTA:** apresenta o número de chamadas em um sentido (eixo Y) em que os parâmetros excederam os limites definidos na seção 5.3.3 (Figura 33,
- Figura 34, Figura 35 e Figura 36) em parciais de 5 minutos. Foram utilizados 6 DATA TEMPLATES criados acima, referentes aos limites dos parâmetros de qualidade para o serviço de telefonia IP.

Figura 25 – Gráfico da telefonia IP quanto à utilização da rede (5 min)

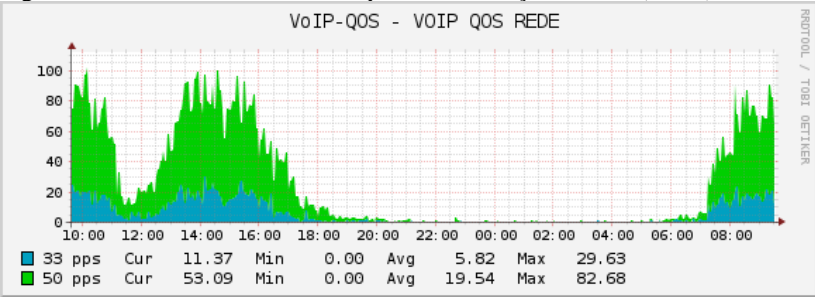


Figura 26 – Gráfico da telefonia IP quanto à utilização da rede (30 min)

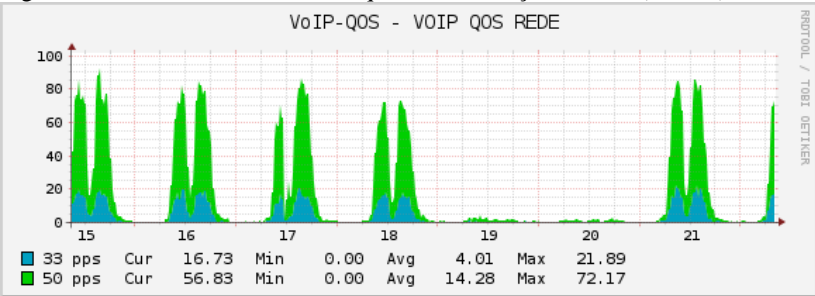


Figura 27 – Gráfico da telefonia IP quanto à utilização da rede (2 h)

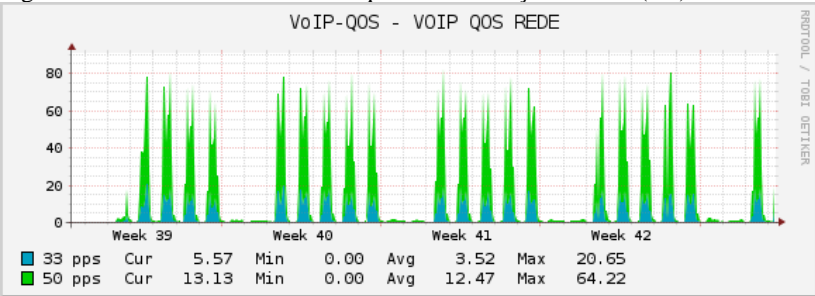


Figura 28 – Gráfico da telefonia IP quanto à utilização da rede (1 ano)

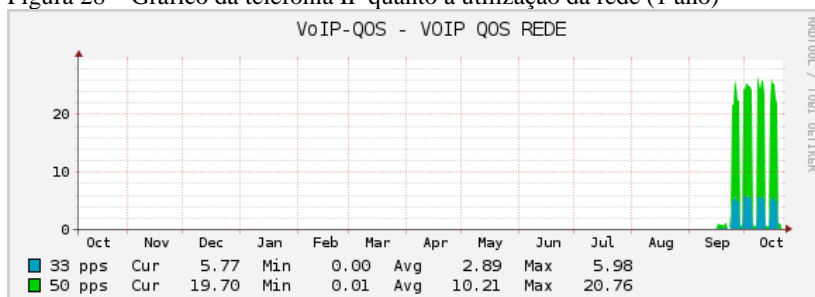


Figura 29 – Gráfico da telefonia IP quanto à seleção do CODEC (5 min)

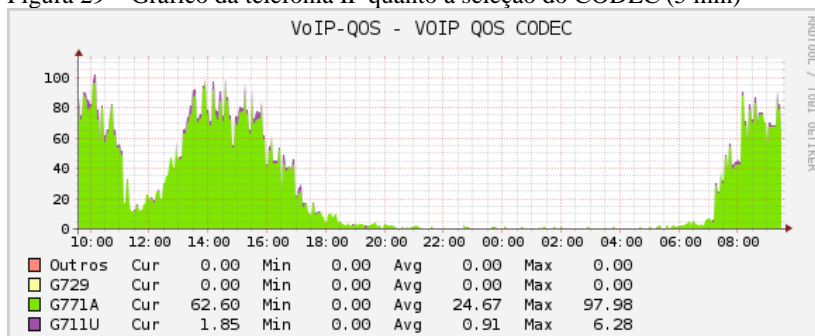


Figura 30 – Gráfico da telefonia IP quanto à seleção do CODEC (30 min)

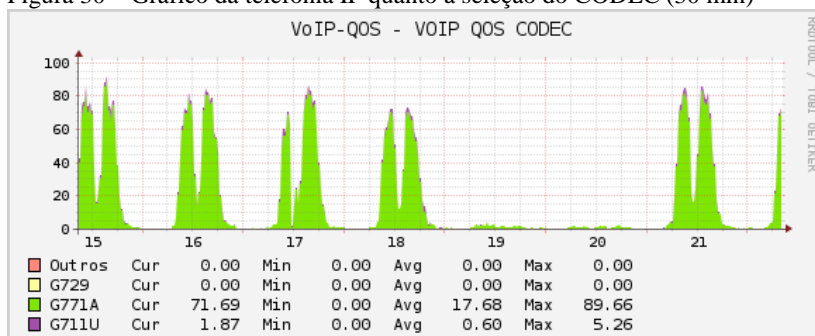




Figura 31 – Gráfico da telefonia IP quanto à seleção do CODEC (2 h)

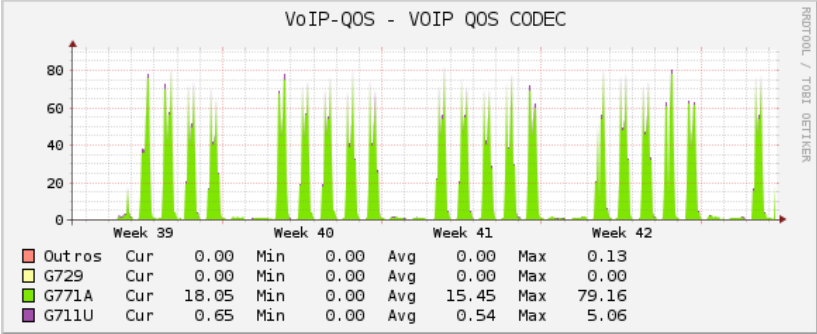


Figura 32 – Gráfico da telefonia IP quanto à seleção do CODEC (1 ano)

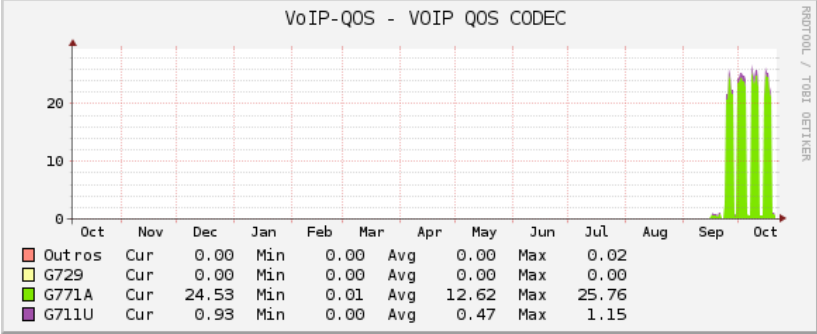


Figura 33 – Gráfico da telefonia IP quanto à geração de alertas (5 min)

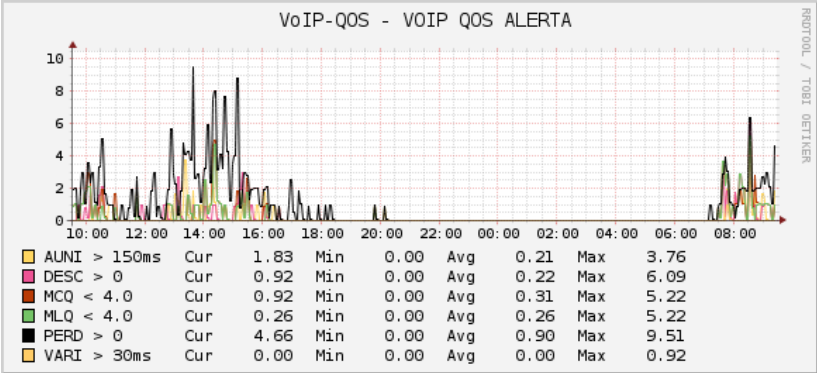


Figura 34 – Gráfico da telefonia IP quanto à geração de alertas (30 min)

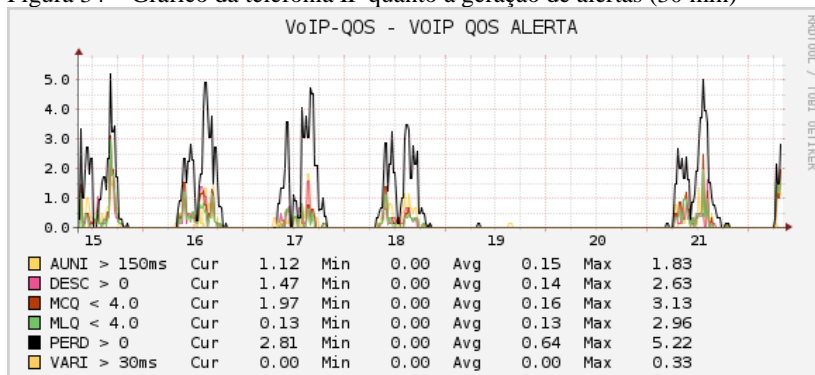


Figura 35 – Gráfico da telefonia IP quanto à geração de alertas (2 h)

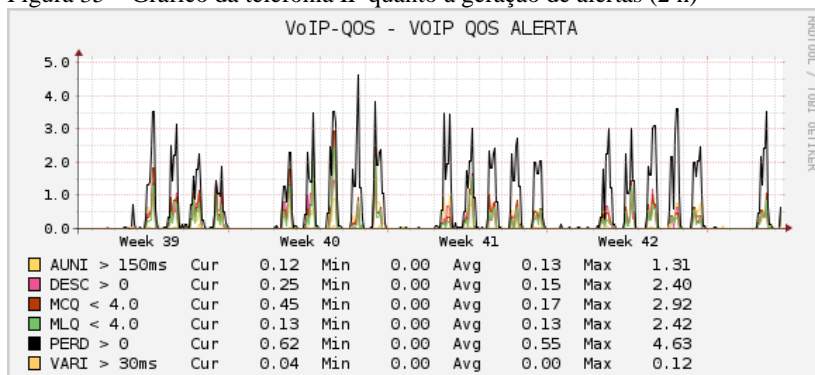
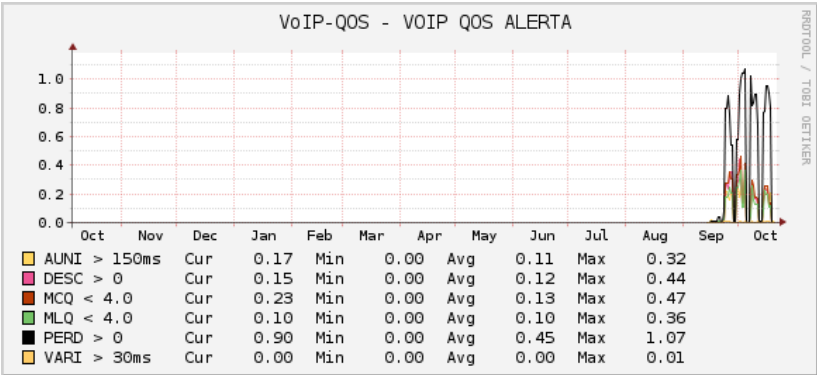


Figura 36 – Gráfico da telefonia IP quanto à geração de alertas (1 ano)



A

Figura 37 demonstra a configuração do GRAPH TEMPLATE que contém informações de taxa de transmissão dos fluxos de voz da telefonia IP.

Figura 37 – Configuração do GRAPH TEMPLATE de taxa de transmissão dos fluxos de voz da telefonia IP

Graph Template Items [edit: SNMP - VOIP QOS REDE]					Add
Graph Item	Data Source	Graph Item Type	CF Type	Item Color	
Item # 1	(33pps): 33 pps	AREA	AVERAGE	00A0C1	⬇ ⬆ ⬇
Item # 2	(33pps): Cur	GPRINT	LAST		⬇ ⬆ ⬇
Item # 3	(33pps): Min	GPRINT	MIN		⬇ ⬆ ⬇
Item # 4	(33pps): Avg	GPRINT	AVERAGE		⬇ ⬆ ⬇
Item # 5	(33pps): Max<HR>	GPRINT	MAX		⬇ ⬆ ⬇
Item # 6	(50pps): 50 pps	STACK	AVERAGE	00CF00	⬇ ⬆ ⬇
Item # 7	(50pps): Cur	GPRINT	LAST		⬇ ⬆ ⬇
Item # 8	(50pps): Min	GPRINT	MIN		⬇ ⬆ ⬇
Item # 9	(50pps): Avg	GPRINT	AVERAGE		⬇ ⬆ ⬇
Item # 10	(50pps): Max<HR>	GPRINT	MAX		⬇ ⬆ ⬇

Graph Item Inputs		Add
Name		
Data Source [33pps]		✖
Data Source [50pps]		✖

Template [edit: SNMP - VOIP QOS REDE]	
Name	SNMP - VOIP QOS REDE
The name given to this graph template.	

Graph Template	
Title (--title)	[host_description] - VOIP QOS REDE
<input checked="" type="checkbox"/> Use Per-Graph Value (Ignore this Value)	
Image Format (--imgformat)	PNG
<input type="checkbox"/> Use Per-Graph Value (Ignore this Value)	

### 5.3. RESULTADOS E ANÁLISE

Nesta seção apresentam-se os resultados do monitoramento de QoS do sistema de telefonia IP da UFSC. As seções que seguem apresentam os resultados apresentados em cada um dos relatórios gerados pelo protótipo desenvolvido.

#### 5.3.1. Relatório de Visão Geral

A Figura 38 apresenta o relatório Visão Geral oferecido pelo protótipo desenvolvido. Os parâmetros deste relatório são baseados nos limites de parâmetros de rede e QoS definidos na Seção 5.2.1.

Na seção *Dados Gerais* desta interface, o administrador pode verificar o período da análise e o total de chamadas monitoradas no período. Há um número de chamadas que são descartadas do monitoramento devido a problemas de coleta, quando um mesmo fluxo é por ventura registrado mais que uma vez e não se há precisão em qual dado é o correto.

Como apresentado na Figura 38, ao todo foram coletadas 402.604 chamadas. Ainda na seção *Dados Gerais* do relatório Visão Geral, o administrador pode verificar dados referentes aos parâmetros de configuração. Como visto no relatório, não há utilização de supressão de silêncio no sistema de telefonia IP da UFSC. Caso tenham fluxos com supressão de silêncio, apareceria o número de fluxos com supressão de silêncio juntamente com o percentual representativo destes fluxos em relação às chamadas monitoradas. Na telefonia da UFSC não estava habilitada a supressão de silêncio, pois tem-se a expectativa que a rede IP da UFSC não possua congestionamento, mesmo as redes remotas do campus de Florianópolis.

O relatório de Visão Geral também indica quantas chamadas possuem alguma perda residual de retorno de eco (RERL - *Residual Echo Return Loss*). Caso nenhuma chamada possua definido o RERL, aparece no relatório como indefinido. Nos telefones IP da UFSC este parâmetro estava configurado para não ser avaliado, sendo assim, reportando como indefinido nos relatórios do SIP vq-rtcpxr.

## Figura 38 – Relatório de Visão Geral

### Visão Geral

#### Resumo

##### Dados Gerais

Período do Monitoramento: 2013-09-11 a 2014-01-11  
 Total de Chamadas: 402598 (100.00%)  
 Chamadas Descartadas do Monitoramento: 332 (0.08%)  
 Supressão de Silêncio: **Não habilitado em todas**  
 RERL: Indefinido

#### Chamadas do Monitoramento

##### Chamadas

Total de Chamadas do Monitoramento: 402266 (100%)  
 Duração Total de Chamadas do Monitoramento: 48516343 s (13476:45:43 h)  
 Chamadas com Um Sentido: 331454 (82.4%)  
 Chamadas com Dois Sentidos: 70812 (17.6%)

##### CODECS

G.711u: Um Sentido 96520 / Dois Sentidos 31699  
 G.711a: Um Sentido 234902 / Dois Sentidos 39113  
 G.729: Um Sentido 8 / Dois Sentidos 0  
 Outros: Um Sentido 24 / Dois Sentidos 0

#### Utilização Rede (PPS)

33 PPS: Um Sentido 105523 / Dois Sentidos 126  
 50 PPS: Um Sentido 225931 / Dois Sentidos 70686  
**Atrasos unidirecionais superiores a 150ms**

Chamadas Um Sentido: 3594 (1.08%)  
 Chamadas Dois Sentidos: 589 (0.83%)

#### Jitter superiores a 30ms

Chamadas Um Sentido: 52 (0.02%)  
 Chamadas Dois Sentidos: 23 (0.03%)

#### Perdas de rede

Chamadas Um Sentido: 10140 (3.06%)  
 Chamadas Dois Sentidos: 2933 (4.14%)

#### Descartes por exceder o jitter buffer

Chamadas Um Sentido: 3155 (0.95%)  
 Chamadas Dois Sentidos: 941 (1.33%)

#### MOS-LQ menores que 4.0

Chamadas Um Sentido: 2555 (0.77%)  
 Chamadas Dois Sentidos: 762 (1.08%)

#### MOS-CQ menores que 4.0

Chamadas Um Sentido: 3328 (1%)  
 Chamadas Dois Sentidos: 972 (1.37%)

Na seção *Chamadas do Monitoramento* do relatório Visão Geral, o administrador pode verificar estatísticas gerais das chamadas. Nesta seção, cada parâmetro é expresso referente a 2 tipos de análise:

- **Chamadas com Um Sentido:** Chamadas Interna 4, Interna 5, Operadora 1 e Fone@RNP 1 (Tabela 6); e
- **Chamadas com Dois Sentidos:** Chamadas Interna 1 (Tabela 6).

Note que nesta seção, o Total de Chamadas se refere ao número total de chamadas do monitoramento, que é o número Total de chamadas menos o Número de chamadas descartadas do monitoramento. Neste protótipo, foram analisadas 402.272, sendo que 70.813 (17,6%) são chamadas do tipo Interna 1 (análise nos dois sentidos). Na média, foram analisadas 3.350 chamadas por dia. Nesta seção ainda é mostrado o tempo total consumido pelas chamadas do monitoramento, o que ultrapassa 13.477 horas. Vale lembrar que para o contexto do protótipo, apenas um conjunto de 5 tipos de ligações foram monitoradas, de um total de 12 tipos (Tabela 6). Portanto, no ambiente de telefonia da UFSC como um todo houveram mais chamadas realizadas neste mesmo período (que não envolveram o uso dos telefones IP).

Ainda na seção *Chamadas do Monitoramento*, são apresentadas estatísticas dos CODECS utilizados. Como se pode perceber na Figura 13, majoritariamente há a utilização dos CODECS G.711u e G.711a. A taxa de transmissão da rede dos agentes usuários está em 33 pps e 50 pps (pacotes de voz de 30ms e 20ms, respectivamente). Por padrão, os

telefones IP da UFSC utilizam o CODEC G.711. Em casos com restrição de banda e que haja necessidade de economizar banda, utiliza-se o G.729. No caso da UFSC, uma parcela pequena de telefones IP estavam com o CODEC G.729 ou outros, diferentes do G.711. Nestes casos possivelmente houve algum problema na rede IP que fez com que os telefones IP selecionassem os CODECs diferentes do G.711.

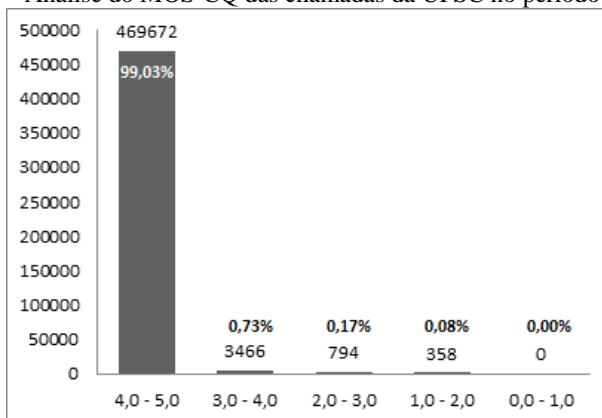
No que tange a parâmetros de rede, obteve-se para chamadas do tipo Interna 1: 0,83% OWD superior a 150 ms; 0,03% *jitter* superior a 30 ms; 4,14% com perdas na rede; e 1,33% com descartes por exceder o buffer de *dejitter*. Para as demais chamadas, obteve-se: 1,08% OWD superior a 150 ms; 0,02% *jitter* superior a 30 ms; 3,06% com perdas na rede; e 0,95% com descartes por exceder o buffer de *dejitter*. Como visto na Seção 3.1, estas métricas de QoS não permitem aos gestores pouco experientes verificarem a qualidade do serviço de telefonia. Mas, considerando os limites de atraso, *jitter* e taxa de perda de pacotes vistos na seção 3.1, pode-se perceber que na maioria das chamadas, estes limites não são ultrapassados no sistema de telefonia da UFSC. No pior caso, apenas 3,06% das chamadas sofrem problemas de qualidade devido a perdas de pacotes.

Para os valores de qualidade, obteve-se para chamadas do tipo Interna 1: 1,08% com MOS-LQ inferiores a 4,0 e 1,37% com MOS-CQ inferiores a 4,0. Para as demais, obteve-se: 0,77% com MOS-LQ inferiores a 4,0 e 1,0% com MOS-CQ inferiores a 4,0. Estas métricas expressam de maneira clara e objetiva a qualidade das chamadas, portanto, os gestores conseguem mais facilmente verificar a qualidade do serviço de telefonia IP. Novamente, pôde-se constatar que a qualidade do serviço de telefonia IP da UFSC é adequada para a maioria das chamadas, sendo que apenas 1,37% das ligações tem problemas de qualidade. Mas idealmente, consideramos que todas as chamadas deveriam ser realizadas com qualidade, a exemplo da telefonia PSTN.

Concluindo a análise dos resultados apresentados no relatório Visão Geral, este relatório indica de forma instantânea os indicadores do período selecionado e permite dar uma visão geral sobre a qualidade do serviço de telefonia IP no período de análise selecionado. Os resultados apresentados neste relatório permitem visualizar de forma rápida que o serviço de telefonia IP da UFSC de maneira geral mantém uma qualidade de serviço aceitável. Note que o relatório Visão Geral não permite identificar o local com maior incidência de problemas de manutenção de qualidade, tampouco as fontes destes problemas. Estas informações são disponibilizadas para outros relatórios.

Na Figura 39 é possível observar que o serviço de telefonia IP atende de forma satisfatória para a maioria das chamadas, chegando ao índice de 99,03% de chamadas com MOS-CQ entre 4,0 e 5,0. Percebe-se que MOS-CQ inferiores a 4,0 não representam mais de 1,00% do total das chamadas.

Figura 39 – Análise do MOS-CQ das chamadas da UFSC no período de análise



### 5.3.2. Relatório de Análise Diária

A partir do relatório de Análise Diária, apresentado na Figura 40, o gestor do sistema de telefonia IP pode observar diversas estatísticas relacionadas às chamadas realizadas em um determinado dia. Assim como no relatório Visão Geral, os parâmetros deste relatório também são baseados nos limites de parâmetros de rede e QoS definidos na Seção 5.2.1. Os dados contidos nestas estatísticas são descritos a seguir:

- **Data:** data de monitoramento das estatísticas apresentadas;
- **Dia da Semana:** dia da semana do conjunto de dados do período de monitoramento;
- **N. Chamadas (1):** número de chamadas com um sentido;
- **N. OWD > 150 ms (1):** número de chamadas com um sentido que contenham OWD superior a 150 ms;
- **N. Perda (1):** número de chamadas com um sentido que contenham algum índice de perda;
- **N. Descarte (1):** número de chamadas com um sentido que contenham índices de descartes de pacotes no buffer de *de jitter*;
- **N. Chamadas (2):** número de chamadas com dois sentidos;

- **N. OWD > 150 ms (2):** número de chamadas com dois sentidos que contenham OWD superior a 150 ms;
- **N. Perda (2):** número de chamadas com dois sentidos que contenham algum índice de perda; e
- **N. Descarte (2):** número de chamadas com dois sentidos que contenham índices de descartes de pacotes no buffer de *de jitter*.

Figura 40 – Relatório de Análise Diária

Análise Diária

Data	Dia da Semana	N. Chamadas (1)	N. OWD > 150 ms (1)	N. Perda (1)	N. Descarte (1)	N. Chamadas (2)	N. OWD > 150 ms (2)	N. Perda (2)	N. Descarte (2)
2013-12-18	Quarta	3940	42	78	37	895	4	34	18
2013-12-19	Quinta	3849	36	117	30	816	3	26	7
2013-12-20	Sexta	3024	18	74	22	584	1	11	0
2013-12-21	Sábado	161	1	7	1	36	0	1	1
2013-12-22	Domingo	137	1	4	0	30	0	1	1

Conforme os resultados apresentados no relatório de Análise Diária, no período de monitoramento do serviço de telefonia IP da UFSC, pode-se perceber que se tem degradação de qualidade para um pequeno número de chamadas. Este resultado indica a necessidade de investigação na rede de telefonia IP para isolar os problemas. Dos 123 dias analisados do período, apenas 8 dias não apresentaram algum tipo de problema. Isto reflete em um percentual de excelência de 6,5%, o que é considerado baixo para um serviço em produção.

Realizando uma análise no período do experimento desta dissertação, nota-se que a incidência de problemas diminui nos períodos de finais de semana, feriados e final do ano (períodos não letivos), dado que o serviço é menos utilizado. Nota-se no período de 11/09/2013 a 20/12/2013, para as chamadas do tipo Interna 1, obteve-se os seguintes indicadores: 0,86% de OWD superior a 150 ms; 4,29% de perdas na rede; e 1,39% de descartes por exceder o buffer de *de jitter*. Para as demais chamadas, observou-se 1,13% de OWD superior a 150 ms; 3,18% de perdas na rede; e 1% de descartes por exceder o buffer de *de jitter*. Já no período de 21/12/2013 a 11/01/2014, para as chamadas do tipo Interna 1 tiveram os seguintes indicadores: 0,26% de OWD superior a 150 ms; 1,19% de perdas na rede; e 0,17% de descartes por exceder o buffer de *de jitter*. Para as demais chamadas, obteve-se 0,34% de OWD superior a 150 ms; 0,98% de perdas na rede; e 0,15% de descartes por



exceder o buffer de *de jitter*. Dado que o segundo período se trata de um período não letivo, percebe-se que a incidência de problemas em períodos que o sistema é menos utilizado de fato é verdadeira.

A exemplo do relatório Visão Geral, o relatório de Análise Diária não permite identificar o local com maior incidência de problemas de manutenção de qualidade, tampouco as fontes destes problemas. Estas informações são possíveis a partir do relatório de Matriz de Tráfego de Voz.

### 5.3.3. Relatório de Matriz de Tráfego de Voz

Na matriz de tráfego de voz são apresentadas nas linhas e nas colunas, origem e destino respectivamente, todas as subredes que a rede da UFSC possui. A célula possui informações de qualidade da intersecção entre as redes, sendo que os parâmetros de qualidade que foram levados em conta estão definidos na Seção 4.3.4. A escala de cores definida na Seção 4.3.4 foi ajustada para esta implementação conforme abaixo explicitada:

- **Cinza:** não há tráfego de voz entre as subredes;
- **Verde escuro:** subredes sem problemas com muita ocorrência de chamadas;
- **Verde claro:** subredes sem problemas com pouca ocorrência de chamadas;
- **Amarelo escuro:** subredes com poucos problemas com muita ocorrência de chamadas;
- **Amarelo claro:** subredes com poucos problemas com pouca ocorrência de chamadas;
- **Vermelho escuro:** subredes com muitos problemas e com muitas chamadas; e
- **Vermelho claro:** subredes com muitos problemas e com poucas chamadas.

Para definir a graduação das cores, foi necessário definir o significado de poucas e muitas chamadas (uma parametrização do Servidor Web SM-QV). Este significado depende do serviço de telefonia IP avaliado e da duração do período de avaliação. Por motivos de simplificação, nesta implementação este parâmetro é definido de forma estática. Futuramente, podem-se avaliar formas dinâmicas para se definir este parâmetro. No caso deste estudo de caso, avaliando o número de telefones IP, configurou-se da seguinte forma:

- **Interseções com poucas chamadas:** são aquelas cujo número de chamadas é abaixo ou igual a 100, considerando o período total de experimentação do estudo de caso; e
- **Interseções com muitas chamadas:** são aquelas cujo número é superior a 100 chamadas, considerando o período total de experimentação do estudo de caso.

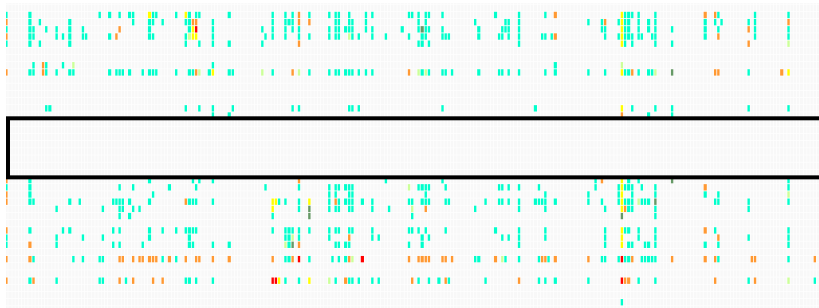
Outra semântica que se fez necessária é o significado de uma interseção com problemas de qualidade. Para isto, neste estudo de caso foi adotado o seguinte:

- **Interseções sem problemas:** são aquelas cujas chamadas não apresentam nenhum tipo de problema, ou seja, com chamadas com MOS superior a 4,0 e nenhuma ocorrência de perda e descarte de pacotes, atrasos e *jitter* excessivos;
- **Interseções com poucos problemas de qualidade:** são aquelas em que apenas 10% das chamadas tem algum tipo de problema (em qualquer uma das métricas de qualidade monitorada); e
- **Interseções com muitos problemas de qualidade:** são aquelas que mais de 10% das chamadas tem algum tipo de problema (em qualquer uma das métricas de qualidade monitorada).

O relatório de Matriz de Tráfego de Voz implementado nesta dissertação está considerando todas as subredes da UFSC, pouco mais de 250 subredes. Neste relatório, é apresentado uma matriz, sendo que cada coluna e cada linha representa uma subrede da UFSC e cada célula representa a intersecção de duas subredes da UFSC. Esta matriz é ilustrada na Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44 e Figura 45. Note que indicação das subredes nas linhas e colunas da matriz não são apresentadas por questões de segurança da rede UFSC.

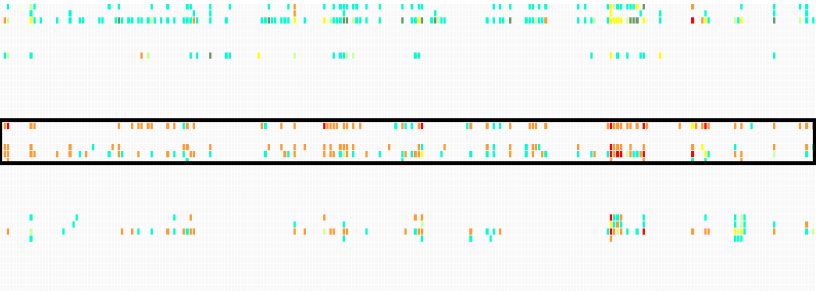
A partir do relatório de Matriz de Tráfego de Voz, conforme implementado nesta dissertação, foi possível verificar que muitas subredes da UFSC não possuem tráfego de voz. Ilustra-se esta ausência de tráfego de voz de interesse a partir da Figura 41, em quais as linhas estão com todas as células com a cor cinza. As subredes destas linhas se referem a subredes de roteamento de rede de um departamento da UFSC, por isto a inexistência de tráfego de voz nessas subredes.

Figura 41 – Detalhamento da não existência de tráfego de voz a partir das subredes das linhas



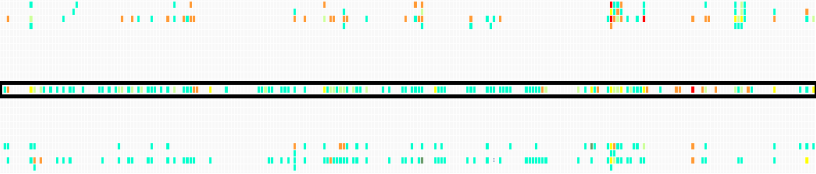
Outra característica importante que pode ser observada a partir desta matriz é a observação visual de problemas a partir de alguma subrede. A Figura 42 destaca problemas nos fluxos de voz a partir das subredes das linhas. Estas subredes em destaque se referem aos campi remotos de Joinville, Curitiba e REMAS (Florianópolis). Esta característica era esperada ser observada visto que as redes contavam com enlaces de baixa capacidade no período do monitoramento. Com esses dados é possível observar que melhorias nestas subredes são necessárias. Ações como validação dos enlaces de interconexão; verificação dos equipamentos de interconexão e de suas configurações; e melhoria na capacidade provida para essas unidades são exemplos que ações corretivas que auxiliariam na melhoria da qualidade provida para o serviço de telefonia IP.

Figura 42 – Detalhamento da existência de problemas a partir das subredes das linhas



Além de apontar os problemas visualmente, esta matriz também indica em quais subredes o serviço de telefonia IP é atendido satisfatoriamente. Isto é bem observado na Figura 43 em qual se observa a qualidade atendida para a subrede da equipe de atendimento ao serviço de telefonia IP da UFSC.

Figura 43 – Detalhamento do atendimento satisfatório na subrede da equipe de atendimento ao serviço de telefonia IP da UFSC



Além da verificação visual por linhas (rede com origem das chamadas unidirecionais) e colunas (rede de destino das chamadas unidirecionais), este relatório também detalha os parâmetros de qualidade entres as intersecções das subredes. Na Figura 44 é possível observar que entre as duas subredes o serviço de telefonia IP é atendido com excelência e na Figura 45 em que o serviço está sendo atendido de forma insatisfatória.

Figura 44 – Fluxos de voz de subrede A para B atendida com excelência

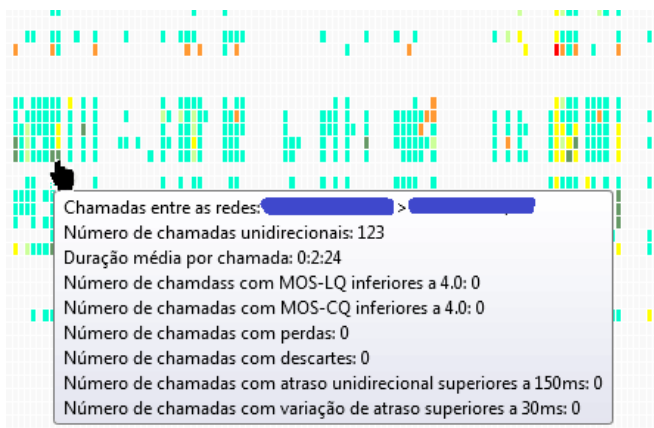
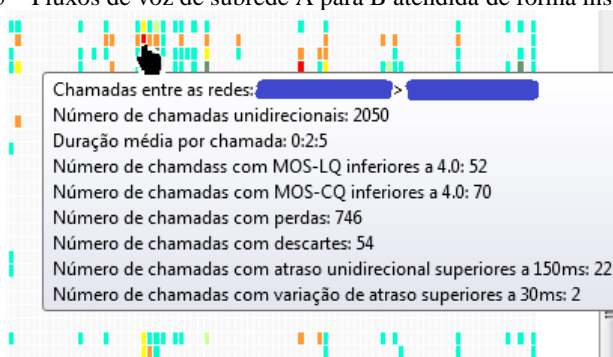


Figura 45 – Fluxos de voz de subrede A para B atendida de forma insatisfatória



Como demonstrado nos exemplos acima, percebe-se que com a utilização deste relatório, os administradores de redes possuem uma ferramenta valiosa em mãos. Com este relatório é possível verificar problemas de qualidade da telefonia IP entre duas subredes. Pode-se escalar melhor a priorização do atendimento dos problemas de telefonia IP, muitas vezes antecipando a identificação e correção dos mesmos, sem a necessidade de impacto na qualidade oferecida do serviço aos usuários. Esta priorização evidencia em quais subredes acontecem mais problemas, em quais o serviço está sendo atendido a contento com

poucos problemas, em quais o serviço é atendido com excelência, e em quais o serviço nem é atendido.

Com isto, este relatório dá subsídios ao administrador da rede para justificar possíveis investimentos para melhorar a infraestrutura do serviço de telefonia IP. Além da melhoria no serviço de telefonia IP, ele auxilia no planejamento para investimentos futuros do serviço de telefonia IP e da própria rede.

### **5.3.4. Relatórios Gerados pelo CACTI**

Os relatórios apresentados na Seção 5.2.2 mostram 3 diferentes gráficos gerados no CACTI para consumirem dados a partir da MIB SNMP definida na Seção 4.3.6. O intuito desses gráficos é realizar uma análise histórica e auxiliar no planejamento do serviço como um todo, diferentemente do proposto pelos relatórios do SM-QV, que avaliam a qualidade do serviço de telefonia IP sob a perspectiva de faixa temporal.

O intuito do gráfico VoIP QoS REDE é poder fazer uma análise no volume de chamadas em um sentido feitas no serviço de telefonia IP da UFSC que contenham taxas de transmissão de 33 pps e 50 pps. Com este gráfico é possível dimensionar a quantia de tráfego IP que é efetivamente utilizada pelo serviço de telefonia IP, além de poder verificar quais tipos de fluxos são gerados pelo serviço e quando são gerados. Percebe-se que em horário comercial (Figura 25), das 8:00 horas às 18:00 horas de segunda-feira a sexta-feira (Figura 27), o sistema de telefonia IP é mais utilizado e que os telefones IP estão utilizando mais a taxa de transmissão de 50 pps (cerca de 2 vezes mais).

Já o gráfico VoIP QoS CODEC analisa o volume de chamadas que estão utilizando os CODECs G.711u, G.711a, G.729 e outros. O intuito deste gráfico é auxiliar os administradores do serviço quanto à quais CODECs estão sendo utilizados pelo serviço de telefonia IP. No caso da UFSC, o CODEC de utilização majoritária é o G.711a (Figura 30). Estes relatórios atentam que a grande maioria dos telefones IP usam o CODEC G.711a, mesmo em campi remotos. Uma ação de reconfiguração para ajustar a escolha do CODEC, optando-se pelo G.729 auxiliaria na melhora da qualidade entregue para essas subredes.

O gráfico VoIP QoS ALERTA (Figura 33), como o próprio nome diz, evidencia os problemas no serviço de telefonia IP. Enquanto os dois primeiros gráficos apresentam dados estatísticos sobre o serviço, este gráfico detalha momentos em que os fluxos de voz apresentaram problemas. Este gráfico é complementar aos relatórios apresentados na

seção 5.3.2 e na seção 5.3.3. Enquanto o relatório de Análise Diária permite verificar as tendências dos problemas na telefonia IP e o relatório de Matriz de Tráfego de Voz permite localizar o grau de atendimento entre as diferentes subredes da UFSC, este gráfico permite verificar de forma instantânea e visual a ocorrência dos problemas no serviço de telefonia IP. Este gráfico ainda permite verificar qual é a principal ocorrência de problemas nos fluxos de voz. O ideal, neste gráfico, é que as métricas se aproximem o mais próximo possível de 0 (ZERO). Quanto mais próximo de 0, maior o nível da qualidade do serviço de telefonia IP.

#### 5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso da UFSC demonstrou o funcionamento adequado da solução de monitoramento de qualidade de chamadas de telefonia IP proposta nesta dissertação. Verificou-se que a proposta é escalável, processando em média 4.500 chamadas diárias e em torno de 3.000 telefones IP gerando pacotes `vq-rtcp`. Isto torna esta proposta relevante e de real importância para a área de monitoramento de redes, dada a sua simplicidade de implantação e fácil integração com ferramentas externas.

Quanto à integração do SM-QV a agentes externos, vê-se que é possível e relevante, tendo em vista que a integração foi validada nesta dissertação utilizando a ferramenta CACTI como prova de conceito. Nota-se que este tipo de integração é relevante, tendo em vista que administradores e operadores de redes já estão habituados a utilizarem suas próprias ferramentas para monitorar outros serviços.

Quanto à complexidade de implantação deste protótipo, vê-se que é de baixa complexidade, quando se tem o devido suporte do pacote de eventos SIP `vq-rtcp` nas aplicações utilizadas e tem uma infraestrutura com uma PBX-IP com suporte a provisionamento.

A proposta possibilita ainda monitorar parâmetros de qualidade das chamadas. Isto permite antecipar a resolução dos possíveis problemas, tornando esta solução mais interessante a ter o monitoramento do serviço de telefonia IP reativo baseado em relatos dos usuários do serviço.

Como visto anteriormente, uma das limitações da adoção da presente proposta é a necessidade dos componentes do sistema de telefonia IP gerarem pacotes de eventos SIP `vq-rtcp`. Na rede da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) são ao todo aproximadamente 3.000 telefones IP da Polycom que têm suporte ao

pacote de eventos SIP `vq-rtcp`. Dessa forma, o estudo de caso cobriu uma amostragem muito significativa do número de chamadas do sistema de telefonia IP. Com isso, por amostragem, puderam-se verificar os problemas existentes na estrutura de rede em termos de manutenção da qualidade do sistema de telefonia IP como um todo.



## 6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Há a necessidade de monitoramento da qualidade dos serviços de telefonia IP. Nesta dissertação foram analisadas diversas propostas que tratam o assunto utilizando metodologias de monitoramento de redes, não se aproveitando da infraestrutura do serviço de telefonia IP existente para realizar o monitoramento do serviço. A proposta desta dissertação apresenta uma nova forma de monitoração do serviço de telefonia IP que se utiliza da própria infraestrutura existente, não necessitando utilizar as metodologias tradicionais da área de monitoramento de redes. Isto facilita a abrangência que o sistema de monitoramento alcança, além de sua implantação em um serviço em produção.

O sistema de monitoramento de qualidade apresentado é não intrusivo. Este monitora as chamadas de telefonia IP utilizando relatórios RTCP-XR e o protocolo SIP. O uso do pacote de eventos SIP `vq-rtcpxr` é o diferencial que permite simplificar o sistema de monitoramento, sem a necessidade de estender o protocolo RTCP-XR para este fim nem fazer grandes alterações na topologia do serviço, apenas adicionando o servidor SM-QV para centralizar os dados de monitoramento dos componentes do serviço de telefonia IP.

A utilização do servidor SM-QV para monitorar o serviço de telefonia IP traz benefícios no que tange à visualização de resultados. Enquanto as demais propostas não escalam para serem implementadas em redes multi-campi com múltiplas redes, esta proposta atende esta demanda e possibilita visualizar de forma rápida dados de qualidade de telefonia IP entre diferentes subredes de uma instituição, dando uma visão do todo, não somente sobre parte do serviço. Percebe-se também que, através da utilização do SM-QV, a monitoração de redes e serviços é elevada a outro nível. Agora se tem monitoração da qualidade o mais próximo do usuário final, não necessitando a intervenção e nem da subjetividade do mesmo. A análise se torna mais abrangente, conseguindo inferir a qualidade do serviço de telefonia IP.

Em termos de complexidade, ele não exige componentes junto aos clientes VoIP para monitorar o tráfego e demanda menos recursos computacionais para cálculo das métricas de qualidade. Isto, pois os equipamentos responsáveis pelo monitoramento da qualidade das chamadas são os próprios clientes VoIP, graças à compatibilidade com a RFC 6035. Quanto a questões de segurança, esta abordagem de monitoramento é totalmente transparente. Isso porque o que é processado em si são os relatórios de qualidade fornecidos pelo pacote de eventos SIP `vq-rtcpxr`. O tráfego de voz em si, mais especificamente

o tráfego RTP, não é capturado e não é feita nenhuma análise extra em cima dele.

Como contribuição técnico-científica, esta dissertação apresenta uma solução estruturada para acessar os dados de qualidade das chamadas de telefonia IP de modo centralizado. Além disso, o oferecimento de interfaces padronizadas permite uma integração com sistemas externos, sem alterar a forma de gerenciar os serviços existentes. Não há necessidade de treinamento da equipe de operação para monitorar o serviço, além de permitir integração com sistemas administrativos, aumentando o valor agregado do serviço de telefonia IP. Nesta dissertação foi demonstrada a aplicabilidade da utilização do pacote de eventos SIP vq-rtcpxr de forma prática em um serviço em produção de grande escala.

A contribuição esperada na aplicação do sistema de monitoramento de qualidade na UFSC é poder monitorar o serviço de telefonia IP sob uma nova perspectiva, a perspectiva do telefone IP, ponta mais próxima do usuário. De fato, os problemas nos fluxos de voz reais podem ser identificados sem a necessidade de testes ou ambientes simulados para tentar isolar o problema. Dessa forma, este sistema permite antecipar as ações de manutenção, aumentando a qualidade entregue do serviço.

Como divulgação da pesquisa, foi publicado o artigo “System of Quality monitoring for IP Telephony Services” (VETTER, M. e WILLRICH, R. 2014) no evento “20th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web”.

Como trabalhos futuros desta dissertação, têm-se como sugestão:

- A utilização da proposta no monitoramento efetivo do sistema de telefonia IP da UFSC;
- Melhoria na visualização do relatório Matriz de Qualidade de Voz, organizando a amostragem dos problemas na tela;
- A comparação das métricas geradas pelo sistema de monitoramento da qualidade da voz proposto com a opinião dos usuários finais e verificar se os dados gerados refletem a percepção dos usuários;
- A comparação das métricas geradas pelo sistema de monitoramento da qualidade da voz proposto com sistemas de medições de redes existentes para verificar se as métricas são fidedignas;
- O desenvolvimento de um módulo de análise de tendências para geração de novos relatórios;
- Teste da integração do sistema com outras ferramentas de monitoração de redes que adotam o protocolo SNMP e;

- Realização da integração dos dados de monitoramento com sistemas acadêmicos de alguma universidade através da API REST disponibilizada.

## REFERÊNCIAS

- ALLNAT, J. 1975. Subjective rating and apparent magnitude. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(6), p. 801-816.
- ALIGERA. 2014. O Eco em Redes IP (VoIP).
- ALMES, G. et al. 1999a. A Round-trip Delay Metric for IPPM. RFC 2681.
- ALMES, G. et al. 1999b. A One-way Delay Metric for IPPM. RFC 2679.
- ALAVI, M. e NIKMEHR, H. 2010. A New Computational Model to Evaluate the Quality of Perceptual Voice Using E-Model in VOIP Communications. In *Networked Digital Technologies*, 594-603.
- BASH. 2014. <http://www.gnu.org/software/bash/>.
- BIRKE, R. et al. 2010. Experiences of VoIP traffic monitoring in a commercial ISP. *International Journal of Network Management* 20, 5, 339-359.
- BRAY, T. 2014. The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format. RFC7159.
- CACTI. 2014. <http://www.cacti.net/>.
- CARDEAL, S., et al. 2011. ArQoS®: System to monitor QoS/QoE in VoIP. In *proc. of the International Conference on Computer as a Tool*.
- CASE, et al. 1990. A Simple Network Management Protocol (SNMP). RFC 1157.
- CE JUNIOR, J. et al. 2010. Uma Abordagem Semântica para Especificação de QoS de Serviços de Comunicação usando Parâmetros de QoE. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web*, 67-74.
- CISCO SYSTEM. 2008. Entendendo Codecs: Complexidade, Suporte de Hardware, MOS e Negociação.

CLARK, Alan. 2006. Demystifying QoS - Measurement: Monitoring, MOS scores and R factors. Telchemy.

CONCEIÇÃO, A. F., LI, J. e FLORÊNCIO, Dinei A. 2006. Transmissão de voz sobre redes IEEE 802.11: um levantamento dos principais problemas e restrições. In Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web, 422-432.

DA ROCHA, A. F. 2005. Evolução das redes telefônicas a partir de processos gradativos de modificação de topologia de rede e conversão de centrais. Cad. CPqD Tecnologia, 1(1), 61-70.

DEBIAN. 2014. <http://www.debian.org/>.

DE LIMA, A. F. M. et al. 2005. Monitoramento baseado em análise estatística para avaliação da qualidade da fala em um ambiente de voz sobre IP. Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços, 21-32.

DEMICHELIS, C. e CHIMENTO, P. 2002. IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM). RFC 3393.

DENG, Li e O'SHAUGHNESSY, Douglas. 2003. Speech processing: a dynamic and optimization-oriented approach. Marcel Dekker, p. 41-48.

FIELDING, R. T., e TAYLOR, R. N. 2002. Principled design of the modern Web architecture. ACM Transactions on Internet Technology (TOIT), 2(2), 115-150

FONE@RNP. 2014. <http://portal.rnp.br/web/servicos/fone-rnp/>.

FRIEDMAN, et al. 2003. RTP Control Protocol Extended Reports (RTCP-XR). RFC 3611.

HANDLEY, et al. 1999. SIP: Session Initiation Protocol. RFC 2543.

HANDLEY, M. e JACOBSON, V. 2006. SDP: Session Description Protocol. RFC 4566.

ITU-T REC. E.771. 1996. Network grade of service parameters and target values for circuit-switched public land mobile services.

ITU-T REC. E.720. 1988. ISDN grade of service concept.

ITU-T REC. G.107. 2014. The E-model: a computational model for use in transmission planning.

ITU-T REC. G.114. 2003. One-way transmission time.

ITU-T REC. G.131. 2004. Talker echo and its control.

ITU-T REC. G.711. 1988. Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies.

ITU-T REC. G.729. 2012. Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP)

ITU-T REC. P.800. 1996. Methods for subjective determination of transmission quality.

ITU-T REC. P.862. 2001. Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ): An Objective Method for End-to-end Speech Quality Assessment of Narrow-Band Telephone Networks and Speech Codecs.

ITU-T REC. H.323. 2009. Packet-based multimedia communications systems.

JELASSI, et al. 2012. Quality of experience of VoIP service: A survey of assessment approaches and open issues. *IEEE Communication Surveys Tutorials*, 14(2), 491–513.

JOHNSTON, et al. 2003. Session Initiation Protocol (SIP) Basic Call Flow Examples. RFC 3665.

KIM, C., et al. 2006. End-to-end qos monitoring tool development and performance analysis for NGN. *Management of Convergence Networks and Services*. Springer Berlin Heidelberg, 332-341.

KOHLER, E., HANDLEY, M., e FLOYD, S. 2006. Datagram Congestion Control Protocol. RFC 4340.

MAINWORK. 2014. <http://www.mainwork.com.br>.

MANCAS, C. e MOCANU, M. 2013. QoS Optimization in Congested Multimedia Networks. In proc. of the 36th International Conference on Telecommunications and Signal Processing, 38-42.

MG-SOFT. 2014. <http://www.mg-soft.si/>.

MICROSOFT. 2014. Mean Opinion Score and Metrics – Communications Server 2007. <http://technet.microsoft.com/en-us/library/bb894481%28v=office.12%29.aspx>.

MORENO, Rafael P. H. 2004. Qualidade de Voz em Redes IP. Universidade São Francisco, Engenharia Elétrica, Trabalho de Conclusão de Curso, p. 17.

MOURA, N. T. et al. 2006. adaMOS: Algoritmo MOS-Adaptativo para Fontes VoIP. In Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web, 223-232.

MYSQL. 2014. <http://www.mysql.com/>

NAGIOS. 2014. <http://www.nagios.org/>.

NET-SNMP. 2014. <http://www.net-snmp.org/>.

OPENSIPS. 2014. <http://www.opensips.org/>.

PENDLETON, et al. 2010. Session Initiation Protocol Event Package for Voice Quality Reporting. RFC 6035.

PERL. 2014. <https://www.perl.org/>.

PHP. 2014. <http://php.net/>.

RDDTOOL. 2014. <http://oss.oetiker.ch/rrdtool/>.

SCHULZINNE, et al. 2003. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 3550.

SCHULZINNE, H. e CARNER, S. 2003. RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control. RFC 3551.

SOLARWINDS. 2014. <http://www.solarwinds.com/>.

SOUZA, André A. D. P., e RODRIGUES, Paulo H. de A. 2011. Uso do Modelo E para Monitoramento de Qualidade de Voz em Tempo Real. XXIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, p. 852.

STEWART, R. 2007. Stream Control Transmission Protocol. RFC 4960.

TELCHEMY. 2014. <http://www.telchemy.com/>.

ULTRACOM. 2014. <http://faq.ultracom.com.br/index.php?action=artikel&cat=7&id=9&artlang=pt-br>

VETTER, M. e WILLRICH, R. 2014. System of Quality monitoring for IP Telephony Services. Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, p. 239-246, ACM.

ZABBIX. 2014. <http://www.zabbix.com/>.